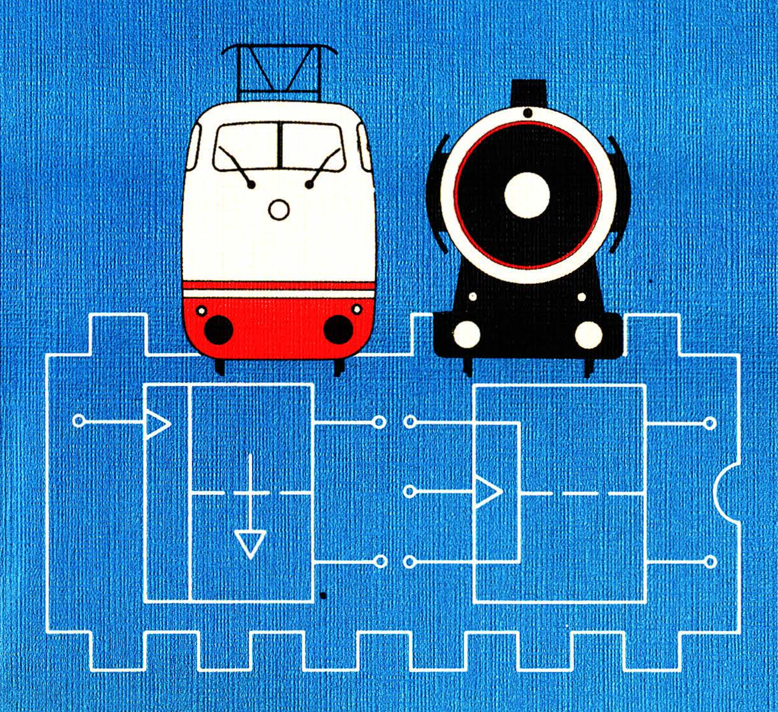
Christoffers

Modelleisenbahnen digital ferngesteuert

183

RPB electronic-taschenbücher

Eine digitale Mehrzugsteuerung und ein lenkbarer Oberleitungsbus ermöglichen vielfältige Betriebsabläufe



Franzis'

RPB electronic-taschenbücher Titelverzeichnis RPB

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfachband (•) DM 5.80; Doppelband (• •) DM 8.80; Dreifachband (• • •) DM 10.80.

4 • • Der Hobby-Elektroniker lernt messen (Nührmann). 3. Aufl.

5 • • Brand- und Einbruchmeldeanlagen (Bartels). 2. Auflage

6 • Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 15. Aufl.

8 • • • Kleines ABC der Elektronik-Orgel (Wuschek) 2. Auflage

9 • • • Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 13. Aufl.

19 • • • Optoelektronik (Ratheiser/Pichler). 2. Aufl.

20 • • Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy/Lummer). 15. Aufl.

25 • • • Amateur-Funkfernschreibtechnik RTTY (Pietsch). 2. Aufl.

29 • • • Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 7. Aufl.

30 • • • UHF-Amateurfunk-Antennen (Reithofer). 2. Aufl.

32 • • • DX-Vademecum (Best)

33 • • • Elektronische Voltmeter (Limann/Pelka). 9. Aufl.

34 • • • Von der Mengenlehre zur Schaltalgebra (Siegfried). 2. Aufl.

40 • Fachwörter der Elektronik. 3. Aufl.

44 • • • KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Diefenbach). 12. Aufl.

46 • • Sendertabelle (Schneider/Redlich). 4. Aufl.

50 • • Prakt. Antennenbau (Mende). 18. Aufl.

51 • • Kleine Fernseh-Bildfehler-Fibel (Gies/Kirsch). 3. Aufl.

53 • • • Elektroflug (Bruß). 2. Aufl.

56 • • Der Hobby-Elektroniker ätzt seine Platinen selbst (Nührmann). 2. Auflage

58 • • Morselehrg. (Diefenbach). 11. Aufl.

64 • • Einführung in die Operationsverstärker-Technik (Hirschmann). 3. Aufl.

65 • • • Operationsverstärker-Anwendung (Hirschmann). 3. Aufl.

68 • • • Kleine Elektronik-Formelsammlung (Rose). 16. Aufl.

69 • • Integrierte Schaltungen in Frage und Antwort (Hibberd). 2. Aufl.

73 • • • Wie liest man eine Schaltung? (Benda). 4. Auflage

82 • • Was ist ein Mikroprozessor? (Pelka). 5. Aufl.

83 • • Mikrofon-Aufnahmetechnik (Praetzel/Warnke). 2. Aufl.

84 • • Fernsehantennen-Praxis (Mende). 14. Aufl.

87 • • Methodische Fehlersuche in der Industrie-Elektronik (Benda). 2. Aufl.

90 • Netzgeräte mit ICs (Sehrig). 3. Aufl.

92 • • • Einfache Experimente mit digitalen Schaltgliedern (Wirsum). 2. Aufl.

93 • • Schaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 8. Aufl.

96 • Abkürzungen aus der Elektronik (Freyer)

99 • • • Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszilloskop? (Sutaner/Wißler). 11. Aufl.

100 • • Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker und Elektroniker (Mende). 4. Aufl.

101 • • • Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 7. Aufl.

102 • • Elektronische Bauelemente – einfach geprüft im Hobby-Labor (Nührmann). 2. Aufl.

105 • • • Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 11. Aufl.

106 • • • Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 5. Aufl.

107 • • Arbeits- und Stationspraxis im Funkverkehr (Gerzelka).

108 • • Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). 4. Aufl.

109 • • • Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 5. Aufl.

110 • • Der Hobby-Elektroniker prüft seine Schaltungen selbst (Nührmann). 2. Aufl.

112 • • Das Löten für den Praktiker (Strauß).

116 • Wie und wo kauft der Hobby-Elektroniker seine Bauteile? (Nührmann)

Dr. Dirk Christoffers

Modelleisenbahnen digital ferngesteuert

Eine digitale Mehrzugsteuerung und
ein lenkbarer Oberleitungsbus
ermöglichen vielfältige Betriebsabläufe

Mit 108 Abbildungen



Nr. 183 der RPB electronic-taschenbücher

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Christoffers, Dirk:
Modelleisenbahnen digital ferngesteuert: e. digitale Mehrzugsteuerung u. e. lenkbarer Oberleitungsbus ermöglichen vielfält. Betriebsabläufe / Dirk Christoffers. – München: Franzis, 1982.
(RPB electronic-taschenbücher; Nr. 183)
ISBN 3-7723-1831-2
NE: GT

Satz: Grafikteam W. Meyer
Druck: Franzis-Druck GmbH, Karlstraße 35, 8000 München 2.
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-1831-2

Vorwort

Dieses Buch wendet sich gleichermaßen an Modelleisenbahner wie an Hobbyelektroniker. Dem Modelleisenbahner bringt eine elektronische Mehrzugsteuerung realistischere Betriebsabläufe und eine Vereinfachung der elektrischen Verdrahtung. Der Hobbyelektroniker findet sinnvolle Anwendungen für die verschiedensten Standardschaltungen der modernen Elektronik.

Nach Abwägung von Vor- und Nachteilen diverser Mehrzugsteuerungen erschien eine Digitalanlage mit Pulspositionsmodulation für den Selbstbau am besten geeignet. Für Leser, die sich noch nicht mit den Grundbegriffen der Digitalelektronik befaßt haben, bringt Kapitel 2 eine kurze Einführung.

In Kapitel 3 wird versucht, einen kurzen, aber umfassenden Überblick über andere Steuerungssysteme zu geben, da eine solche Zusammenstellung bisher nicht veröffentlicht wurde. Die Ausführungen werden durch ein vollständiges Literaturverzeichnis ergänzt. Wer sich allerdings für die Theorie nicht interessiert und lieber bauen möchte, kann das Kapitel ohne weiteres überschlagen.

Wie es sich für ein Baubuch gehört, werden alle Schaltungen der Anlage ausführlich erläutert und detaillierte Anweisungen für den praktischen Aufbau gegeben. Mit Ausnahme der Lokomotivempfänger werden die Schaltungen mit den einfach zu handhabenden Veroboard-Platinen aufgebaut. Neben einem Netzgerät werden ein Vielfachmeßinstrument und ein einfacher Oszillograf benötigt. Obwohl dieser nicht ganz billig ist, sei er doch jedem empfohlen, der sich ernsthaft mit der Elektronik beschäftigen will. Man kann die Steuerelektronik zwar auch ohne Oszillograf aufbauen, aber die Funktionsüberprüfung und eine eventuelle Fehlersuche sind ohne das Gerät äußerst schwierig. Die in den Schaltplänen angegebenen Halbleiter sind Standardtypen und können durch Bauelemente mit ähnlichen Daten ersetzt werden.

In Kapitel 8 wird ein anderes interessantes Bastelobjekt beschrieben: ein ferngesteuerter Oberleitungsomnibus. Das Fahrzeug ist mit einer proportionalen Lenkung und Geschwindigkeitsregelung ausgerüstet. Es handelt sich um das erste vollferngesteuerte Automobilmodell im exakten HO-Maßstab und eignet sich daher vorzüglich zum Einsatz auf entsprechenden Modelleisenbahnanlagen. Da die Steuerelektronik mit wenigen Bauelementen auskommt, kann der Bau des Modells auch den Anfängern unter den Hobbyelektronikern empfohlen werden.

Inhalt

1	**Einführung**	9
1.1	Stromkreise	9
1.2	Oberleitungsbetrieb und Gleissysteme	10
1.3	Elektronische Mehrzugsteuerungen	14
2	**Digital oder analog?**	17
2.1	Erläuterung der Begriffe	17
2.2	Schaltungen der Digitalelektronik	21
2.2.1	Logische Verknüpfungen und Gatter	21
2.2.2	Kippschaltungen	24
2.2.3	Schieberegister und Zähler	27
2.2.4	Bindeglieder zwischen Analog- und Digitaltechnik	31
3	**Zusammenstellung der gebräuchlichsten Steuerungssysteme**	35
3.1	*ems*	35
3.2	Tonfrequenzsteuerungen	38
3.3	Digitalanlagen	45
3.3.1	Digitalanlagen mit Pulsdauermodulation (PDM)	46
3.3.2	Digitalanlagen mit Pulspositionsmodulation (PPM)	47
3.3.3	Digitalanlagen mit Pulscodemodulation (PCM)	48
3.4	Systemvergleich	53
4	**Baugruppen und Funktionsprinzip der PPM-Mehrzugsteuerung**	55
4.1	Fahrspannung	55
4.2	Übertragung der Steuerbefehle	55
4.3	Herkömmliche Impulsteile	56
4.4	Dekoder und Fahrtregler	59
4.5	Motoransteuerung	64
4.6	Moderne Impulsteile	67

5 Bauanleitung für den PPM-Sender 69
5.1 Fahrspannungsgerät 70
5.2 Impulsteil 75
5.3 Mechanischer Aufbau des Senders 88

6 Bauanleitung für den PPM-Empfänger 90
6.1 Dekoder und Fahrtregler 90
6.2 Ansteuerung von Gleich- und Wechselstrommotoren mit Fehlimpulsunterdrückung 96
6.3 Entwurf einer gedruckten Platine 102
6.4 Einbauhinweise und Inbetriebnahme 105

7 Zusatzschaltungen 108
7.1 Gemeinsamer Betrieb mit serienmäßigen Lokomotiven 108
7.2 Kehrschleifen 109
7.3 Zugbeleuchtung, Stirnlampenumschaltung, Geräuschelektronik 111
7.4 Blocksicherung 112
7.5 Schaltfunktionen 114

8 Ferngesteuerter Oberleitungsomnibus 115
8.1 Einführung 115
8.2 Anmerkungen zur Geschichte und Technik des Vorbilds 117
8.3 Funktionsprinzip der Fernsteuerung 120
8.3.1 Funktionsprinzip des Senders 120
8.3.2 Funktionsprinzip des Empfängers 122
8.4 Bauanleitung für den Sender 123
8.4.1 Fahrspannungsgerät 123
8.4.2 Steuergenerator 127
8.4.3 Überlagerungsschaltung 128
8.4.4 Mechanischer Aufbau des Senders 129
8.5 Bauanleitung für den Empfänger 133
8.5.1 Anschluß des Fahrmotors 135
8.5.2 Spannungsverdoppler und Mittelwertbildner 135
8.5.3 Servoverstärker 137

8.5.4 Umbau eines *Brawa*-Busses 139
8.6 Inbetriebnahme der Anlage 147

Literaturverzeichnis 148

Sachverzeichnis 150

Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden*). Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

---

*) Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

1 Einführung

Die meisten Modellbahnfreunde haben wohl einmal mit einer einzelnen Zuggarnitur auf einem Gleisoval angefangen. Ist die Begeisterung für dieses Hobby jedoch erst geweckt, so entsteht schnell der Wunsch, die Anlage auszubauen und mehrere Züge einzusetzen. In diesem Stadium muß man sich Gedanken darüber machen, wie die einzelnen Lokomotiven möglichst unabhängig voneinander gesteuert werden können.

1.1 Stromkreise

Üblicherweise wird die Anlage dazu in zwei oder mehrere separate Gleisabschnitte aufgeteilt, die voneinander elektrisch isoliert sind. Das ist z.B. bei Signalen mit Zugbeeinflussung nötig. Eine kurze Strecke vor dem Hauptsignal wird vom übrigen Stromkreis durch Isolierung abgetrennt. Bei geschlossenem Signal ist dieser Abschnitt stromlos. Während ein Zug vor dem auf „Halt“ stehenden Signal wartet, kann ein anderer seine Runden drehen. Wechselt das Signal auf „Fahrt“, so wird die Isolierung überbrückt, und der zuvor wartende Zug kann anfahren.

Weiter kann man jeden Stromkreis aus einem separaten Fahrgerät speisen. Damit lassen sich so viele Züge unabhängig voneinander betreiben, wie Stromkreise vorhanden sind. Das funktioniert natürlich nur, solange die Lokomotiven in ihrem Abschnitt bleiben. Überfährt eine Lok die Trennstelle zum Stromkreis einer anderen Lok, so reagieren beide auf das zugehörige Fahrgerät, und die Unabhängigkeit ist nicht mehr gegeben. Es genügt übrigens, wenn die Gleistrennungen einseitig vorgenommen werden. Die Rückleitung des Fahrstromes erfolgt dann über einen für alle Stromkreise gemeinsamen Leiter, der Nulleiter oder

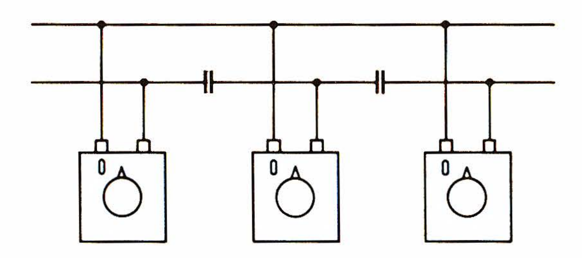


Abb. 1 Aufteilung einer Gleisanlage in Stromkreise. Die durchgehende Schiene ist der gemeinsame Rückleiter

auch Masse genannt wird (*Abb. 1*). Trotz der einpoligen Verbindung beeinflussen sich die Stromkreise gegenseitig nicht.

1.2 Oberleitungsbetrieb und Gleissysteme

Bei den meisten Modellen von Elektrolokomotiven und Oberleitungstriebfahrzeugen kann der Fahrstrom naturgetreu über einen gesonderten Fahrdraht zugeführt werden. Die Rückleitung des Fahrstromes erfolgt dann über den Nulleiter.

In *Abb. 2* ist die Stromführung für das internationale Zweileiter-Gleichstrom-System dargestellt. Beim Betrieb ohne Oberleitung fließt der Strom vom Transformator über eine Schiene zum Lokomotivmotor und über die andere Schiene zurück zum Transformator. Bei Oberleitungsbetrieb fließt der Strom vom Transformator über die Oberleitung zum Lokmotor und über eine der beiden Schienen zum Transformator zurück. Damit haben wir zwei getrennte Stromkreise und können zwei Lokomotiven auf einem Gleis völlig unabhängig voneinander steuern.

Dabei muß festgelegt werden, welche der beiden Schienen als gemeinsamer Rückleiter (Nulleiter) für beide Stromkreise verwendet werden soll. Da sie im Prinzip völlig gleichwertig sind, ist darüber eine Verabredung zu treffen. Die Modellbahnhersteller sind übereingekommen, die bei Oberleitungsbetrieb wirksamen Radschleifer auf der linken Seite der Loks anzuordnen.

Abb. 2 Stromführung beim internationalen Zweileiter-Gleichstrom-System

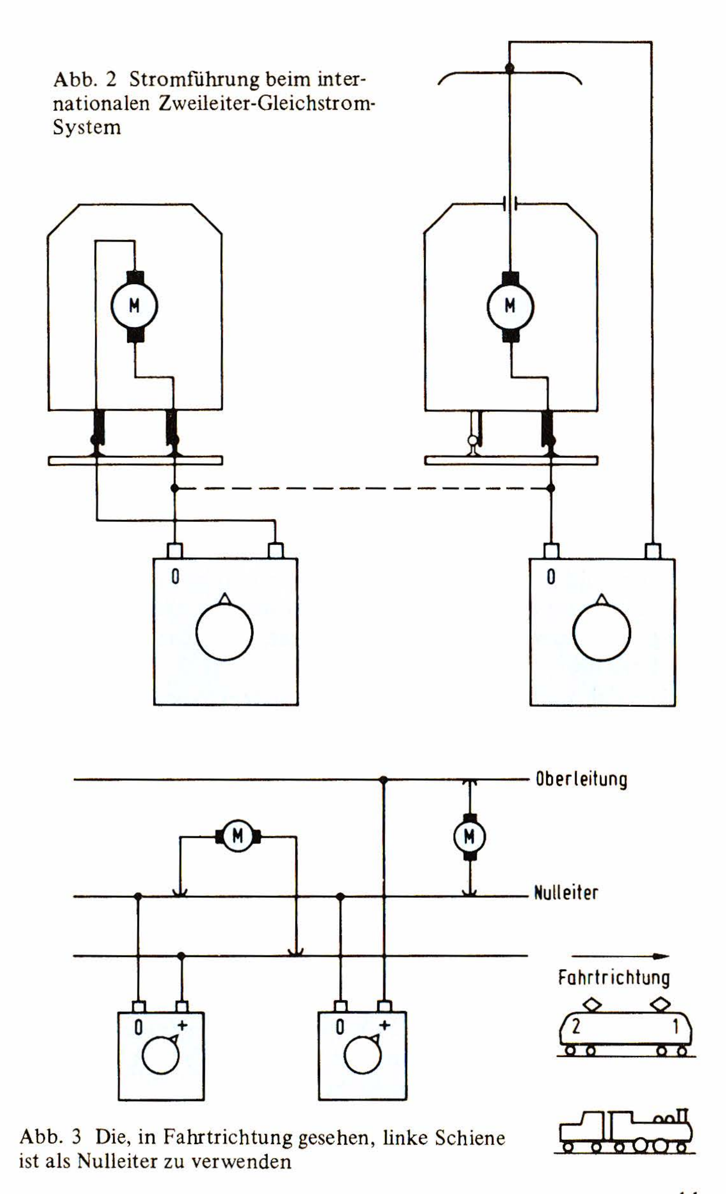


Abb. 3 Die, in Fahrtrichtung gesehen, linke Schiene ist als Nulleiter zu verwenden

Da sich bei E-Loks beide Enden gleichen, ist das „Vorderende“ durch eine „1“, das „Hinterende“ durch eine „2“ gekennzeichnet. Nehmen wir an, das Gleis verlaufe quer zur Blickrichtung (*Abb. 3*), und man habe die hintere Schiene zum Nulleiter gemacht, dann müßte der Führerstand „1“ der E-Lok nach rechts zeigen. Es ist also darauf zu achten, daß man die Oberleitungsloks richtig herum auf die Gleise setzt (stromabnehmende Radseite auf die Nulleiterschiene), da es sonst zu einer Verkopplung der beiden Stromkreise und zu gegenseitiger Beeinflussung kommt.

Die Fahrtrichtung wird nach NEM*602 durch die Polarität der Schienen und Fahrleitungen bestimmt. Die Motoren sind so gepolt, daß die Oberleitungsloks vorwärts, hier also von links nach rechts fahren, wenn die Oberleitung am Pluspol des Fahrpults liegt.

Bei Stromabnahme von den Schienen fahren die Lokomotiven von links nach rechts, wenn die vordere, in Fahrtrichtung gesehen rechte, Schiene positiv gepolt ist. Man mache sich klar, daß die Loks in diesem Fall auch dann von links nach rechts fahren, wenn man sie auf den Schienen wendet. Die Fahrtrichtung hängt also nur von der Schienenpolarität, nicht von der Richtung der Loks ab.

Die Fahrtrichtung wird gewechselt, indem man die Polarität der zweiten Schiene bzw. der Oberleitung gegenüber dem Nulleiter umkehrt.

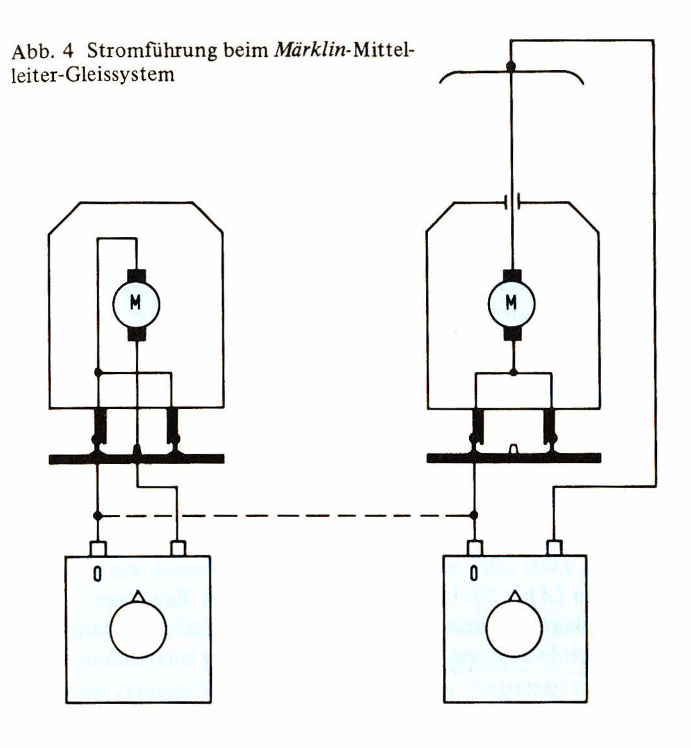
Beim *Märklin*-System (*Abb. 4*) dienen beide Schienen als gemeinsamer Rückleiter. Der Strom für die links gezeichnete Lok wird über einen Mittelleiter zugeführt, der als Punktkontaktstreifen ausgebildet ist. Die rechte Lok erhält den Strom über die Oberleitung. Wegen der Symmetrie der Stromführung ist es gleichgültig, in welcher Richtung man die Loks aufschient.

Über die Vor- und Nachteile beider Systeme ist viel diskutiert worden. Hier sei nur soviel gesagt, daß das Zweischienengleis naturgetreuer wirkt, während für das Mittelleitergleis eine Stromführung spricht, die jede Gleisfigur (z.B. auch Kehrschleifen) ohne Zusatzschaltungen ermöglicht.

---

* NEM: Normen Europäischer Modellbahnen

Abb. 4 Stromführung beim *Märklin*-Mittelleiter-Gleissystem



Eine Besonderheit des *Märklin*-Systems, auf die wir in Kapitel 6.2 noch zurückkommen werden, ist der Wechselstrombetrieb. Während Gleichstromloks durch einfaches Umpolen der Spannung die Fahrtrichtung ändern, müssen Wechselstromloks einen besonderen Fahrtrichtungsschalter enthalten, der mit Überspannungsimpulsen angesteuert wird. Es sei betont, daß die Verwendung von Gleich- oder Wechselstrom nicht an das Gleissystem gebunden ist.

Schließlich ist noch das *Trix-Express*-System zu erwähnen. Hier hat das Gleis drei isolierte Schienen, die Mittelschiene dient als Rückleiter, und je eine Fahrschiene als zweiter Stromleiter. Zusammen mit einer Oberleitung hat man drei Stromkreise auf

einem Gleis, was den Betrieb von drei Loks ermöglicht. Anhänger des Modellgedankens wird aber die dritte Schiene stören. Für nähere Informationen schlage man z.B. in [1] nach.

Die Oberleitung gestattet in jedem Fall einen Zweizugbetrieb auf einem Gleis. Damit werden ganz neue Betriebsvorgänge möglich. So kann z.B. eine Rangierlok einen Zug zum Bahnsteig bringen, auf dem die eigentliche Streckenlok bereits wartet, oder ein schwerer Güterzug kann mit einer Vorspannlok ausgerüstet werden. Das bedeutet, daß zwei Loks, unabhängig voneinander gesteuert, dicht aneinander heran oder hintereinander her fahren können, was bei Mehrzugbetrieb durch Stromkreistrennungen nicht möglich ist.

1.3 Elektronische Mehrzugsteuerungen

Die konsequente Weiterführung dieser Gedanken führt zu den elektronischen Mehrzugsteuerungen, die den Betrieb von zwei oder mehr Loks auf einem Stromkreis ermöglichen (*Abb. 5*). In diesem Buch wird der Bau einer 6-Kanal-Anlage beschrieben, d.h. sechs Lokomotiven können, nach Fahrtrichtung und Geschwindigkeit völlig unabhängig voneinander gesteuert, auf einem Stromkreis eingesetzt werden (*Abb. 6*). Bei Verwendung einer Oberleitung und einer zweiten Steuereinrichtung verdoppelt sich die Anzahl, wie bei jedem System.

Bei den elektronischen Mehrzugsystemen liegt an den Gleisen stets die volle Fahrspannung (Ausnahme *Trix-ems*). Fahrtrichtung und Geschwindigkeit reguliert ein in den Lokomotiven befindlicher Empfänger. Dieser reagiert auf Steuerbefehle, die der Fahrspannung überlagert werden. Solche Mehrzugsysteme bieten folgende Vorteile:

- Realistische Betriebsabläufe durch völlig unabhängige Steuerung der Loks, auch wenn sie sich dicht beieinander befinden.
- Jede Lok kann ohne Sonderschaltungen auf jedes beliebige Gleis der Anlage fahren.

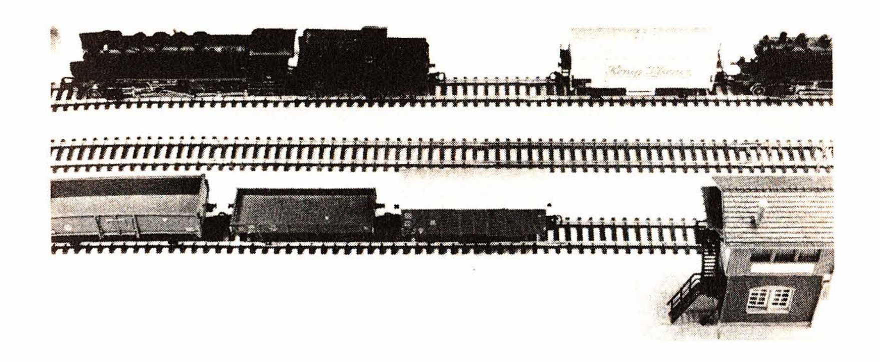


Abb. 5 Eine Mehrzugsteuerung ermöglicht den Einsatz der Strecken- und der Rangierlok auf einem Stromkreis

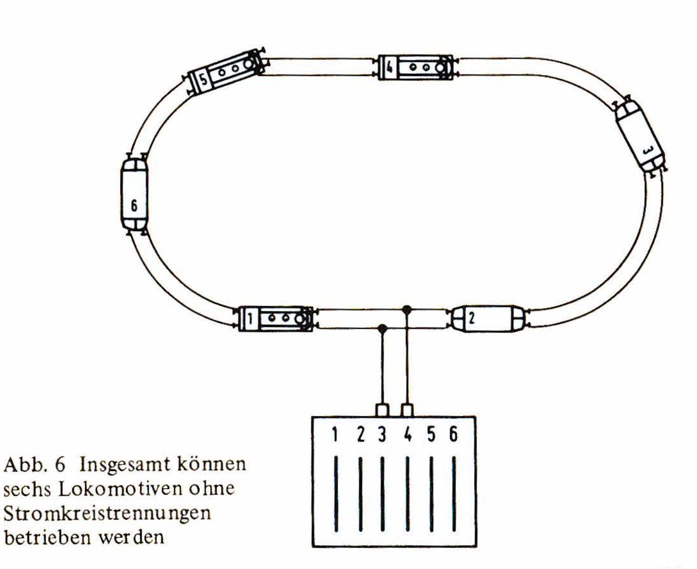


Abb. 6 Insgesamt können sechs Lokomotiven ohne Stromkreistrennungen betrieben werden

- Eine Unterteilung in Stromkreise ist nicht notwendig, womit sich die Verdrahtung erheblich vereinfacht.
- Niedrige Kosten, da nur ein Transformator notwendig ist, wenn auch mit höherer Leistung.
- Eine konstante Zugbeleuchtung ist systembedingt mit inbegriffen.

Stehen diesen Vorteilen auch Nachteile gegenüber? Der Arbeitsaufwand für den Bau des Steuergerätes und für Lokumbauten ist nicht unerheblich. Wer aber Spaß an elektronischen Basteleien hat, wird diese Arbeiten als Bereicherung seines Hobbys empfinden. Nicht wegzudiskutieren ist aber folgendes: Die Empfänger lassen sich nicht beliebig miniaturisieren. Es kann durchaus der Fall eintreten, daß z.B. eine kleine Rangierlok nicht genügend Platz für die Empfängerplatine bietet. Eine solche Lok muß dann ständig mit einem kleinen Wagen gekoppelt sein, der die Elektronik aufnimmt. Das gilt ganz besonders für Anlagen im Maßstab N.

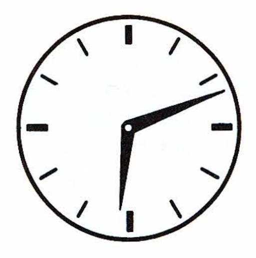
2 Digital oder analog?

Wie der Titel des Buches schon sagt, werden bei der Nachbauanlage Prinzipien der digitalen Signalübertragung und -verarbeitung angewandt. Digitalanlagen arbeiten störsicher, da sie, wie noch beschrieben werden wird, nur zwei Pegel kennen. Bei der Übertragung digitaler Signale muß nur sichergestellt werden, daß diese Pegel erkannt werden. Allerdings können bei einer digitalen Mehrzugsteuerung, als Folge von Kontaktunterbrechungen zwischen Rad und Schiene, kurzzeitig Fehlimpulse auftreten. Diese müssen durch besondere Schaltmaßnahmen unterdrückt werden.
Das ist bei der vorgestellten Anlage auf einfache Art gelungen. Die Lokomotiven sind feinfühlig steuerbar und laufen so ruhig, wie sie es bei Betrieb mit den üblichen Fahrpulten tun.

2.1 Erläuterung der Begriffe

Seit es Digitaluhren gibt, d.h. Uhren mit Ziffernanzeige, ist das Wort digital in aller Munde. Wollte man die herkömmlichen Zeigeruhren mit einem ebenso schönen Fremdwort bedenken, so könnte man sie als Analoguhren bezeichnen. Bei diesen wird das Ergebnis der Zeitmessung als Winkelausschlag eines Zeigers auf einer Skala angegeben. Diese analoge Anzeige läßt theoretisch eine unendlich feine Unterteilung zu, vorausgesetzt die Ablesegenauigkeit wird entsprechend immer weiter erhöht. Anders ist es bei den Digitaluhren. Hier ist die Genauigkeit der Anzeige durch die Wahl der kleinsten Zeiteinheit bestimmt. Bei der Digitaluhr in *Abb. 7* ist das die Minute. Zeiten lassen sich nur als ganzzahlige Vielfache dieser Einheit angeben, Zwischenwerte können dagegen nicht abgelesen werden. Von Vorteil ist aber, daß Ablesefehler kaum möglich sind.

Digital leitet sich vom lateinischen Wort *digitus* (Finger) ab und erinnert an das Zählen mit den Fingern, an das Ziffernprinzip.



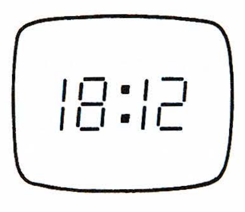


Abb. 7 Analog- bzw. Digitalanzeige bei Uhren

Für die ziffernmäßige Darstellung von Zahlen hat sich das dezimale Zahlensystem eingebürgert. Es handelt sich um ein Stellenwertsystem zur Basis 10, d.h. jede Ziffer einer Zahl ist in Abhängigkeit von ihrer Stelle noch mit einer Zehnerpotenz zu multiplizieren. Diese Werte sind dann zu addieren, z.B.:

$$854 = 8 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0 = 8 \cdot 100 + 5 \cdot 10 + 4 \cdot 1$$

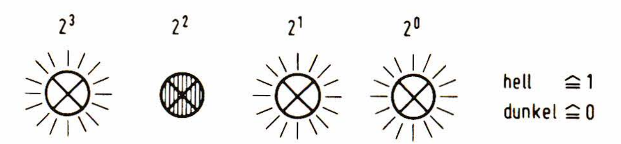
Auf diese Weise ist es möglich, alle Zahlen mit nur zehn Ziffern (0, 1, . . . , 9) darzustellen.

In der Elektronik müssen diese Ziffern in elektrische Größen oder Signale umgesetzt werden. Die Unterscheidung von zehn elektrischen Zuständen ist aber nur schwer zu realisieren, daher wird ein anderes Zahlensystem bevorzugt, das sogenannte Dualsystem. Stellenwerte sind in ihm die Potenzen der Basis 2, also 1, 2, 4, 8, 16, . . . usw. . Man benötigt nur zwei Ziffern, nämlich die 0 und die 1. Die Umrechnung von Dezimalzahlen in Dualzahlen geht aus *Tabelle 1* hervor. Der Vorteil des Dualsystems liegt auf der Hand. Zur Darstellung von 0 und 1 können Elemente verwendet werden, die in zwei möglichen Zuständen betrieben werden können (Binärelemente). Beispiele sind Schalter (offen oder geschlossen) und Glühlampen (hell oder dunkel). *Abb. 8* zeigt eine Anordnung von vier Lampen, mit der die Zahlen 0 bis 15 dual angezeigt werden können. Hier wird gerade die Zahl 11 wiedergegeben.

Selbstverständlich lassen sich auch Transistoren als Binärelemente verwenden. Bei analogen Transistorschaltungen wird das Kollektorruhepotential meist in die Mitte des aussteuerbaren Bereiches gelegt, so daß eine lineare Aussteuerung um diesen

Tabelle 1 Umrechnung von Dezimal- in Dualzahlen

dezimal	dual	Stellenwerte 2^3 =8	2^2 =4	2^1 =2	2^0 =1
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
2	10	0	0	1	0
3	11	0	0	1	1
4	100	0	1	0	0
5	101	0	1	0	1
6	110	0	1	1	0
7	111	0	1	1	1
8	1000	1	0	0	0
9	1001	1	0	0	1
10	1010	1	0	1	0
11	1011	1	0	1	1
12	1100	1	1	0	0
13	1101	1	1	0	1
14	1110	1	1	1	0
15	1111	1	1	1	1



$1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11$

Abb. 8 Darstellung einer Dualzahl mit Hilfe von Glühlampen

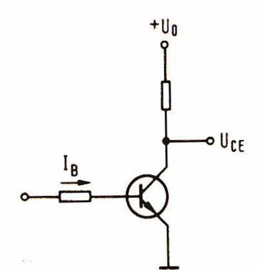


Abb. 9 Der Transistor als Schalter

Arbeitspunkt ermöglicht wird. Bei Digitalschaltungen wird der Transistor dagegen im Schalterbetrieb eingesetzt, da man sich nur für zwei Betriebszustände interessiert. Der Transistor (*Abb. 9*) sei von einer Stromquelle angesteuert. Der Basisstrom I_B soll sich sprungartig zwischen 0 und einem festen Wert ändern. Ist $I_B = 0$, so fließt nur der sehr kleine Kollektorstrom I_{CO} und es gilt:

$$U_{CE} = U_O - R \cdot I_{CO} \approx U_O$$

U_{CE} unterscheidet sich nur wenig von U_O. Man sagt, der Ausgang des Transistors ist im Zustand H (high = hoch). Um den Transistor in den leitenden Zustand zu bringen, läßt man einen Basisstrom I_B fließen, der um den Gleichstromverstärkungsfaktor niedriger sein darf als I_C. Meist wählt man I_B aber größer, damit der Transistor mit Sicherheit aufgesteuert wird. Es fließt dann der Kollektorstrom:

$$I_C \approx I_O = \frac{U_O}{R}$$

Die Kollektor-Emitter-Restspannung ist sehr klein ($U_{CE} \approx 0$). Man sagt, der Ausgang des Transistors ist im Zustand L (low = niedrig)*. Den Potentialen H und L lassen sich nun die Ziffern oder die logischen Variablen 0 und 1 zuordnen. L = 0 und H = 1 bezeichnet man als positive Logik.

* Nach DIN 41785, Blatt 4, bezeichnet man ganz allgemein den Spannungspegel, der näher an $+\infty$ liegt als H und den, der näher an $-\infty$ liegt als L

Zusammenfassend läßt sich sagen: Analogschaltungen verarbeiten stetig verlaufende Signale. Unter der Voraussetzung, daß die Signalamplituden im Vergleich zum nutzbaren Kennlinienbereich klein sind, ist das Ausgangssignal eine lineare Funktion des Eingangssignals.

Digitalschaltungen sind Schaltungen, die digitale Signale an den Eingängen nach bestimmten Beziehungen in digitale Ausgangssignale überführen. Dabei wird ein digitales Signal durch eine Größe dargestellt, die eine endliche Anzahl diskreter Werte besitzt. Die wichtigsten Digitalschaltungen sind die Binärschaltungen. Sie verarbeiten Signale, die nur zwei Werte annehmen können. Binärschaltungen sind fast immer gemeint, wenn allgemein von Digitalschaltungen gesprochen wird.

2.2 Schaltungen der Digitalelektronik

In den Nachbauanlagen kommen Gatter, Kippschaltungen, Analogschalter, Zähler und Komparatoren zur Anwendung. Die Funktion der Anlagen ist leichter zu verstehen, wenn der Aufbau dieser Komponenten in groben Zügen bekannt ist. Sie sollen daher vorab dargestellt werden. Schieberegister, Analogmultiplexer und DA- bzw. AD-Wandler sollen ebenfalls kurz angesprochen werden, da sie bei einem anderen wichtigen Steuerungssystem (PCM), das in Kapitel 3 behandelt wird, eine Rolle spielen. Eine detailliertere Einführung in die digitale (und analoge) Elektronik findet man z.B. in [2].

2.2.1 Logische Verknüpfungen und Gatter

Unter logischen Verknüpfungen versteht man Operationen, bei denen ein oder mehrere Eingangssignale nach bestimmten Beziehungen in Ausgangssignale überführt werden, wobei alle Signale nur zwei Werte, H oder L, annehmen können. Auch komplizierte digitale Geräte beruhen auf der wiederholten Anwendung solcher Verknüpfungen. Sie lassen sich mit Hilfe der Schaltalgebra, auch Boolsche Algebra genannt, mathematisch erfassen. Die Theorie zeigt, daß man alle logischen Aussagen

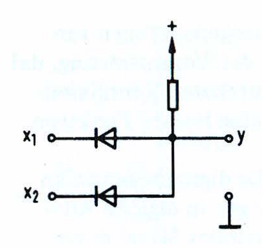
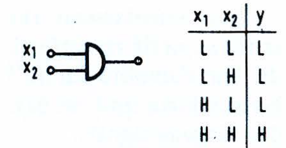


Abb. 10a UND-Gatter



x_1	x_2	y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

Abb. 10b Schaltsymbol und Funktionstabelle des UND-Gatters

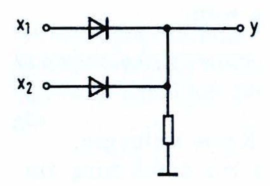
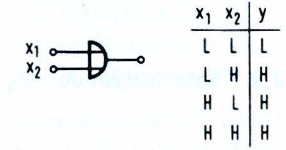


Abb. 11a ODER-Gatter



x_1	x_2	y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

Abb. 11b Schaltsymbol und Funktionstabelle des ODER-Gatters

durch drei Verknüpfungen ausdrücken kann. Es handelt sich um die UND-, die ODER- und die NICHT-Verknüpfung. Schaltungen, die solche Verknüpfungen herstellen, bezeichnet man als Gatter.

Abb. 10a zeigt ein UND-Gatter. Der Ausgang liegt nur dann auf H-Potential, wenn die Eingänge x_1 *und* x_2 auf H-Potential liegen. Andernfalls liegt der Ausgang auf L. Die Funktion des Gatters läßt sich kurz in Form einer Tabelle angeben (*Abb. 10b*).

Ein ODER-Gatter wird durch eine Schaltung nach *Abb. 11a* realisiert. Hier liegt der Ausgang auf H-Potential, wenn der Eingang x_1 *oder* x_2 *oder* beide auf H liegen. *Abb. 11b* zeigt Schaltsymbol und Funktionstabelle.

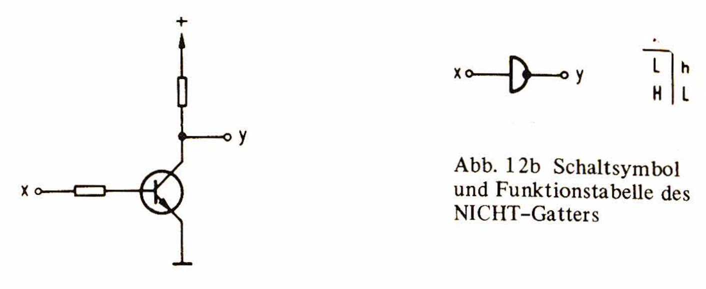


Abb. 12b Schaltsymbol und Funktionstabelle des NICHT-Gatters

Abb. 12a NICHT-Gatter

Abb. 12a zeigt schließlich ein NICHT-Gatter. Der Ausgang liegt auf H, wenn der Eingang auf L liegt und umgekehrt. Das Signal wird also invertiert. Schaltsymbol und Funktionstabelle zeigt *Abb. 12b.*

Ein ausgefüllter Kreis am Ausgang des Gattersymbols besagt ganz allgemein, daß in der Baugruppe das logische Signal noch zusätzlich invertiert wird, anstelle H also L am Ausgang erscheint und umgekehrt. Aus einem ODER-Gatter wird so ein NOR-Gatter, aus einem UND-Gatter ein NAND-Gatter.

Die schaltungstechnische Realisierung der Gatter kann auf ganz verschiedene Arten erfolgen. So gibt es die Dioden-Transistor-Logik (DTL), die Widerstands-Transistor-Logik (RTL), die Transistor-Transistor-Logik (TTL), die komplementäre MOS-Logik (CMOS) und viele andere mehr. CMOS-Schaltungen zeichnen sich durch niedrige Stromaufnahme, hohen Eingangswiderstand und großen Betriebsspannungsbereich aus und werden in diesem Buch bevorzugt verwendet. Besondere Vorsichtsmaßnahmen gegen statische Aufladungen sind nicht mehr nötig, da die CMOS-ICs heute mit Schutzdioden ausgerüstet sind.

Oft wird eine große Anzahl von logischen Verknüpfungen notwendig. Man ist daher meist auf integrierte Schaltkreise (ICs) angewiesen. ICs sind Zusammenfassungen von aktiven (z.B. Transistoren) und passiven Bauelementen (z.B. Widerständen) auf einem einzigen Kristall. Den Anwender interessiert nur die Schaltung als ganze. Ihre Funktion ist durch äußere Schaltelemente zu beeinflussen, ihr Inneres ist aber nicht erreich-

bar. Mit Hilfe von ICs lassen sich auch funktionell aufwendige Geräte mit wenigen Elementen aufbauen. Sie sind zudem äußerst zuverlässig, wenn ihre Grenzdaten wie maximale Speisespannung und maximaler Ausgangsstrom nicht überschritten werden.

2.2.2 Kippschaltungen

Kippschaltungen spielen in der Digitalelektronik eine große Rolle. Wir unterscheiden drei Arten: das Flip-Flop, den monostabilen Multivibrator und den astabilen Multivibrator.

Das Flip-Flop

Ein Flip-Flop besteht aus zwei symmetrischen Gleichspannungsverstärkern, deren Ein- und Ausgänge überkreuz gekoppelt sind (*Abb. 13*). Das bewirkt, daß einer der Transistoren stets völlig gesperrt ist, während der andere ganz geöffnet ist, d.h. die Ausgänge Q und $\overline{Q}$ sind komplementär. Nehmen wir an, T1 leitet gerade. Der Ausgang $\overline{Q}$ hat dann L-Potential. Die Basis von T2 wird über den Spannungsteiler R2, R3 auf L-Potential gehalten,

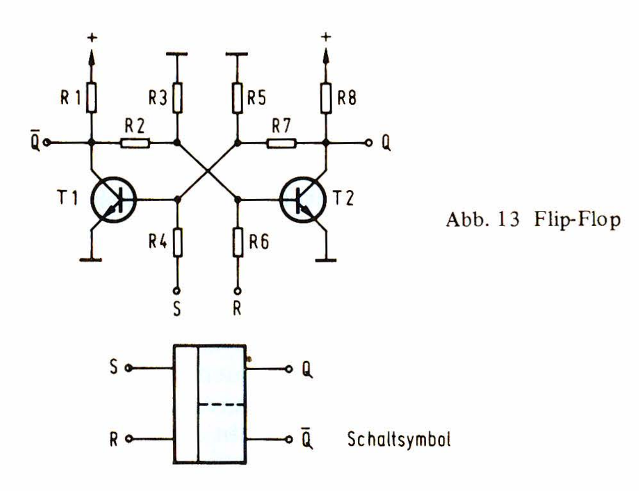


Abb. 13 Flip-Flop

so daß T2 sperrt und der Ausgang Q auf H–Potential liegt. Ein positiver Impuls auf den R–Eingang macht T2 leitend und versetzt den Q–Ausgang in den Zustand Q = L. Ein positiver Impuls auf den S–Eingang versetzt den Q–Ausgang zurück in den Zustand Q = H. Ein Flip–Flop wird auch als bistabiler Multivibrator bezeichnet, da es zwei stabile Zustände hat, zwischen denen es nur durch äußere Einwirkungen hin- und hergekippt werden kann. Flip–Flops findet man in Zählern und Speichern.

Der monostabile Multivibrator

Ersetzt man einen der Rückkopplungswiderstände des Flip–Flops durch ein RC–Glied, so erhält man einen monostabilen Multivibrator (*Abb. 14a*). Dieser hat nur noch einen stabilen Zustand. Im Ruhezustand erhält T2 über R2 Basisstrom, so daß T2 öffnet (Q = L) und T1 sperrt ($\overline{Q}$ = H). Durch einen positiven Impuls auf den T–Eingang wird T1 leitend. Der Spannungssprung am Kollektor von T1 (H → L) wird über den Kondensator C1 auf die Basis von T2 übertragen und sperrt T2. Der monostabile Multivibrator ist in

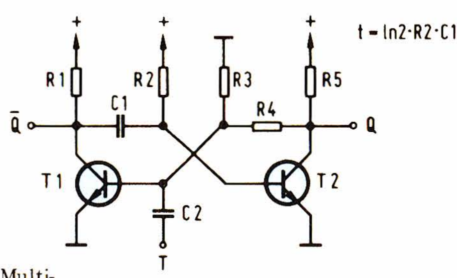
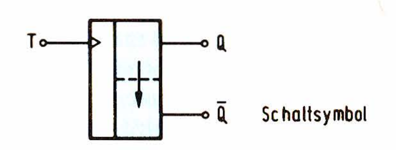


Abb. 14a Monostabiler Multivibrator



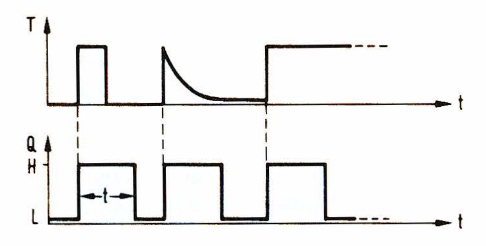


Abb. 14b Spannungsverlauf am Ausgang Q des monostabilen Multivibrators bei positiver Flankentriggerung

seinen quasistabilen Zustand gekippt. Erst wenn C1 über R2 wieder umgeladen ist, kann T2 wieder öffnen, d.h. nach einer durch das RC-Glied vorgegebenen Zeit kehrt die Anordnung von selbst wieder in den Ausgangszustand zurück.

Durch den Kondensator C2 in Verbindung mit R3 werden die Eingangsimpulse differenziert. Das Kippen des monostabilen Multivibrators wird durch die positive Flanke (L → H) des Eingangsimpulses ausgelöst, die Rückflanke ist ohne Bedeutung (*Abb. 14b*). Man nennt das einen dynamischen Eingang mit positiver Flankentriggerung. Im Schaltsymbol wird ein dynamischer Eingang durch ein Dreieck gekennzeichnet. Wird der Schaltvorgang durch die Rückflanke (H → L) des Eingangsimpulses ausgelöst, so wird das Dreieck schwarz ausgefüllt (negative Flankentriggerung).

Der monostabile Multivibrator wird zur Impulsformung und in Verzögerungsschaltungen verwendet. Man bezeichnet ihn auch kurz als Monoflop.

Der astabile Multivibrator

Ersetzt man schließlich beide Rückkopplungswiderstände durch RC-Glieder, so kommt man zum astabilen Multivibrator (*Abb. 15a*). Diese Schaltung hat keinen stabilen Zustand mehr, sondern zwei quasistabile, zwischen denen sie hin- und herkippt. Die Periodendauer T wird durch die RC-Glieder bestimmt

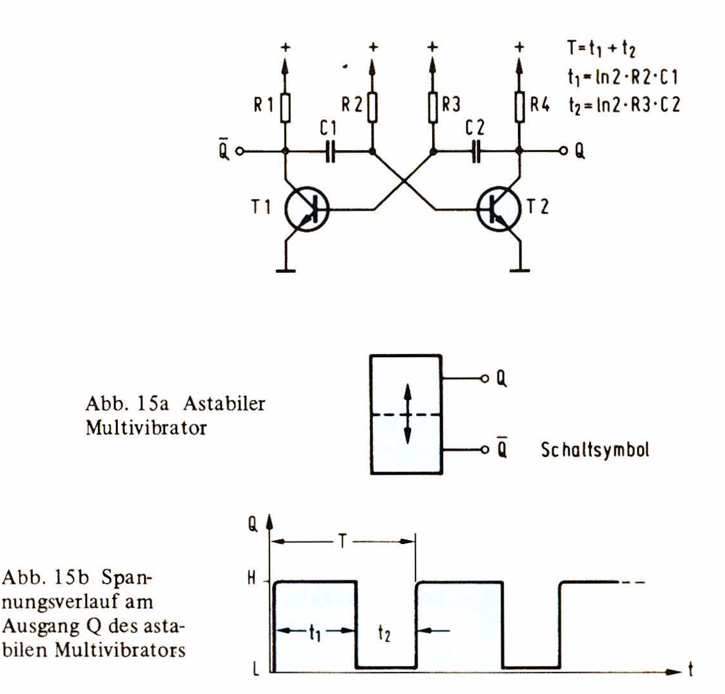


Abb. 15a Astabiler Multivibrator

Abb. 15b Spannungsverlauf am Ausgang Q des astabilen Multivibrators

(*Abb. 15b*). Astabile Multivibratoren werden als einfache Impulsgeneratoren eingesetzt.

2.2.3 Schieberegister und Zähler

Diese Schaltungen lassen sich mit Flip-Flops aufbauen, die mit sogenannten Vorbereitungseingängen (v und w in *Abb. 16a*) ausgerüstet sind. Liegt an den Vorbereitungseingängen H-Potential, so sperren die Dioden D1 und D2. Ein Impuls am Eingang T kann sich also nicht auf die Schaltung auswirken. Ist aber z.B. v = H und w = L, so wird ein negativer Impuls auf die Basis von T2 übertragen, sobald T von H auf L springt (negative Flankentriggerung). Dadurch wird T2 gesperrt, Q geht auf H-Potential

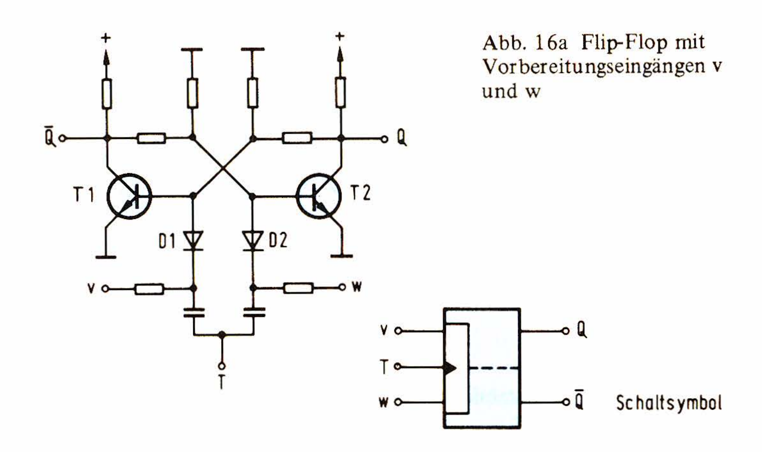


Abb. 16a Flip-Flop mit Vorbereitungseingängen v und w

v	w	Q	$\bar{Q}$
H	H	wie vor dem Takt	
H	L	H	L
L	H	L	H
L	L	nicht definiert	

Abb. 16b Funktionstabelle des v, w-Flip-Flops. Zustände der Ausgänge Q und $\bar{Q}$ nach dem Takt

und damit $\bar{Q}$ auf L. Der Zustand der Eingänge v und w wird also bei Eintreffen des Taktimpulses vom Flip-Flop übernommen. Das gleiche gilt für v = L und w = H. Die komplette Funktionstabelle zeigt *Abb. 16b.*

Schieberegister

Schieberegister werden eingesetzt, um binäre Informationen zu speichern. *Abb. 17* zeigt eine Ausführung mit vier Stufen. Die Flip-Flops FF sind so hintereinander geschaltet, daß immer die Ausgänge des vorhergehenden mit den Eingängen des nachfolgenden Flip-Flops verbunden sind. Das Taktsignal gelangt an alle Flip-Flops gleichzeitig.

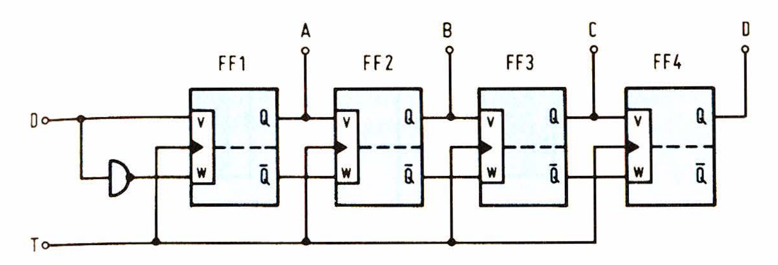


Abb. 17 Schieberegister

Die Eingangsinformation sei D1. Nach dem ersten Takt ist A = D1. Nun legt man die nächste Eingangsinformation D2 an. Nach dem nächsten Taktimpuls übernimmt FF2 den alten Ausgangszustand von FF1 und FF1 übernimmt den neuen Eingangszustand usw. (siehe Funktionstabelle Abb. 16b). Die Information wird also mit jedem Takt weitergeschoben und die neue Eingangsinformation eingelesen. Insgesamt kann eine vierstellige Dualzahl gespeichert werden.

Man hat zwei Möglichkeiten die Informationen wieder auszulesen. An den Ausgängen A . . . D stehen die Informationen gleichzeitig zur Verfügung, das ermöglicht ein paralleles Auslesen. Man kann aber auch weitere Taktimpulse an das Schieberegister legen, dann tauchen die Daten nacheinander am Ausgang D auf, sie werden also seriell ausgegeben. Spezielle Schieberegister sind noch mit Zusatzschaltungen versehen, die auch eine parallele Eingabe von Daten ermöglichen.

Zähler

Ein Zähler läßt sich am einfachsten aus sogenannten T-Flip-Flops aufbauen. Man erhält sie, indem man die Vorbereitungseingänge v und w mit den Ausgängen Q und $\overline{Q}$ koppelt (*Abb. 18*). Aus der Funktionstabelle in Abb. 16b geht hervor, daß ein solches Flip-Flop mit jedem Takt seinen Zustand wechselt, also H, L, H, L usw. .

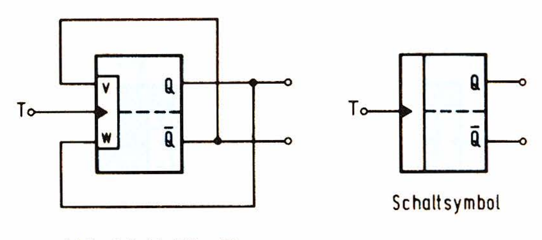


Abb. 18 T-Flip-Flop

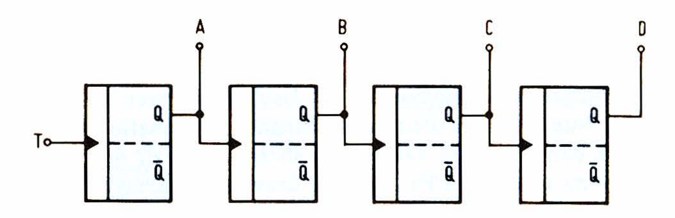


Abb. 19 Vierstelliger Dualzähler

Schaltet man mehrere T-Flip-Flops in Reihe (*Abb. 19*), so werden die Taktimpulse im Dualcode gezählt. Mit vier Stufen kann von 0 bis 15 gezählt werden, indem man den einzelnen Stufen die Stellenwerte 2^0, 2^1, 2^2 und 2^3 zuordnet. Nach dem ersten Impuls nimmt der Ausgang A den Zustand 1 ($\triangleq$ H) an, nach dem zweiten wird A wieder 0 ($\triangleq$ L). Während A von 1 auf 0 geht, wird B = 1 usw. (vergleiche Tabelle 1).

In manchen Anwendungen müssen die Dualzahlen in die üblichen Dezimalzahlen umgesetzt (dekodiert) werden. Es gibt ICs, die Zähler samt Dekoder enthalten. Die Dekoder sind aus Gattern aufgebaut. Nehmen wir z.B. einen Zähler, der von 0 bis 7 zählt. Er hat dann acht Ausgänge, die den Zahlen 0 bis 7 zugeordnet sind. Eine bestimmte Zahl wird angezeigt, indem der betreffende Ausgang auf H-Potential geht. Alle anderen Ausgänge bleiben auf L (1-aus-n-Code).

2.2.4 Bindeglieder zwischen Analog- und Digitaltechnik

Eine Reihe von Schaltungen ist keiner der beiden Techniken ganz zuzuordnen. Sie stehen oft an den Nahtstellen zwischen analogen und digitalen Schaltungsteilen und ermöglichen ihr Zusammenwirken.

Analogschalter
Mit Analogschaltern kann man einen Signalweg in Abhängigkeit von einer Steuerspannung öffnen oder sperren. Ein elektromechanisches Beispiel für einen solchen Schalter ist ein Relais (*Abb. 20*). Solange der Schalter S geschlossen ist, ist die Ausgangsspannung gleich der Eingangsspannung. Fällt das Relais ab und öffnet S, so wird die Ausgangsspannung 0. Analogschalter dieser Art werden auch Durchlaßtore genannt. Schalter in CMOS-Ausführung erreichen Sperrwiderstände von 10^{12} Ω und haben im leitenden Zustand etwa 80 Ω Widerstand.

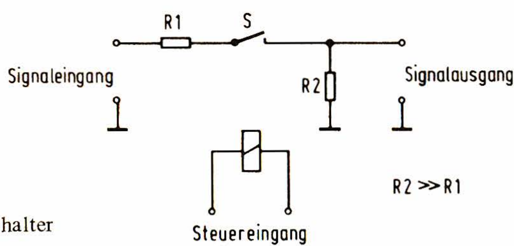


Abb. 20 Analogschalter

Analogmultiplexer
Auch die Funktion eines Analogmultiplexers läßt sich am einfachsten an einer mechanischen Ausführung erklären. Man braucht dazu eine Reihe von Schaltern mit einem gemeinsamen Ausgang (*Abb. 21*). Durch Steuersignale läßt sich jeweils ein Schalter schließen, entweder der Reihe nach oder einzeln ausgewählt. Damit kann man die Spannungen verschiedener Signalquellen abfragen und an einen Ausgang übertragen. Der

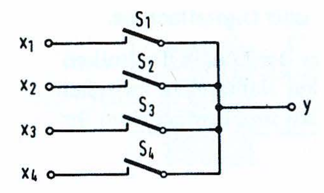


Abb. 21 Analogmultiplexer

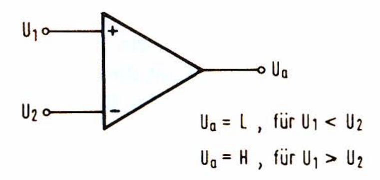


Abb. 22 Komparator

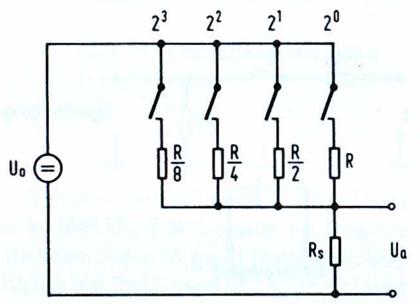


Abb. 23 Digital-Analog-Wandler

Vorgang läßt sich natürlich auch umkehren, d.h. eine Spannung kann auf verschiedene Ausgänge verteilt werden. Solche Schaltungen heißen Demultiplexer.

Komparatoren

Mit Hilfe eines Komparators können zwei Spannungen verglichen werden (*Abb. 22*). Der Ausgang nimmt L-Potential an, wenn U_1 kleiner als U_2 ist und H-Potential, wenn U_1 größer als U_2 ist.

Digital-Analog-Wandler

Digital-Analog-Wandler dienen zur Umsetzung eines digital angegebenen Meßwertes in eine analoge Größe. In *Abb. 23* ist eine einfache Schaltung angegeben, die eine vierstellige Dualzahl in eine proportionale Spannung umwandelt. Die Widerstände sind gerade so groß, daß bei geschlossenem Schalter ein Teilstrom fließt, der dem Stellenwert der zugehörigen Ziffer entspricht. Die Teilströme werden an dem Widerstand R_S summiert, so daß an ihm eine analoge Spannung abgegriffen werden kann.

Analog-Digital-Wandler

Analog-Digital-Wandler setzen die analoge Darstellung eines Meßwertes in eine digitale um. Das geschieht z.B. in Digitalvoltmetern, die eine Spannung in Form einer Zahl wiedergeben. Von den üblichen Schaltprinzipien sei nur das Sägezahnverfahren genannt. Bei diesem Verfahren wird der Meßwert zunächst in ein entsprechendes Zeitintervall umgewandelt. Dazu erzeugt ein Sägezahngenerator, bei negativen Werten beginnend, eine linear

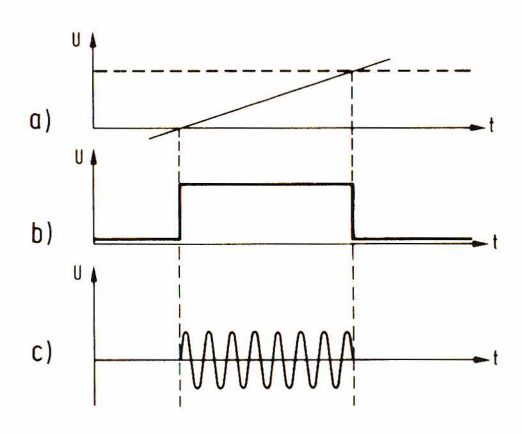


Abb. 24 Funktionsprinzip eines Analog-Digital-Wandlers.
a) Sägezahn, b) Torspannung, c) Zählimpulse

mit der Zeit ansteigende Spannung (*Abb. 24*). Beim Nulldurchgang wird eine Torschaltung geöffnet. Ein Komparator vergleicht die zu messende Spannung mit der Sägezahnspannung. In dem Augenblick, in dem beide gleich sind, wird das Tor wieder geschlossen. Während der Öffnungszeit des Tores können Impulse von einem frequenzstabilen Oszillator auf einen Zähler gelangen. Der Zählerstand ist damit der Meßspannung proportional. Steigt z.B. die Sägezahnspannung in einer Sekunde von 0 V auf 10 V und beträgt die Oszillatorfrequenz 10 kHz, so gibt der Zählerstand die Spannung in mV an.

3 Zusammenstellung der gebräuchlichsten Steuerungs-systeme

In diesem Kapitel sollen die verschiedenen Schaltungsmöglichkeiten für eine Mehrzugsteuerung, und zwar analoge wie digitale, aufgezeigt und verglichen werden. Sicher gibt es kein ideales System, das alle Vorteile auf seiner Seite hat. Die Kriterien, die bei der Auswahl eines Systems herangezogen werden, sind Betriebssicherheit und Miniaturisierbarkeit des Empfängerbausteins.

Bei der Besprechung der einzelnen Anlagen werden Gleichstrommotoren zugrunde gelegt. Sämtliche Steuerungen sind aber auch für Wechselstrombahnen geeignet (siehe auch Kapitel 4.6).

3.1 ems

Das *ems*-System wird von der Firma *Trix* gefertigt. Es gestattet den unabhängigen Betrieb von *zwei* Fahrzeugen auf einem Stromkreis. Dazu braucht die erste Lok nicht verändert zu werden, auch nicht das Fahrgerät bzw. der Trafo. Die zweite Lok muß mit einem kleinen Empfänger ausgerüstet werden, der auf das Signal eines speziellen *ems*-Steuergerätes anspricht. Dieses gibt eine 9,5-kHz-Wechselspannung ab, die der Fahrspannung der ersten Lok überlagert wird. Die Normallok reagiert überhaupt nicht auf das *ems*-Signal, da ihre Ankerwicklungen solch hohen Frequenzen einen hohen Widerstand entgegensetzen. Die mit dem *ems*-Baustein ausgerüstete Lokomotive reagiert ihrerseits nicht auf Gleichspannungen.

Abb. 25 zeigt das Blockschaltbild eines *ems*-Steuergerätes. Es wird aus den Lichtstrombuchsen des Normalfahrpultes gespeist. Die Wechselspannung erzeugt ein astabiler Multivibrator. Dieser gibt eine Rechteckspannung ab, deren Impuls-Pause-Verhältnis von etwa 2,5 : 1 auf 1 : 2,5 umgeschaltet werden

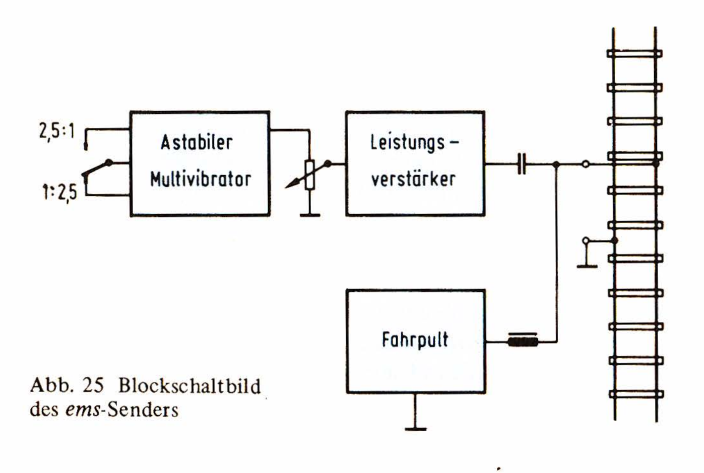


Abb. 25 Blockschaltbild des *ems*-Senders

kann. Mit einem Potentiometer kann die Impulshöhe variiert werden. Die Höhe der *ems*-Wechselspannung bestimmt die Fahrgeschwindigkeit, das Impuls-Pause-Verhältnis die Fahrtrichtung. Die Impulse werden zur Vermeidung von Funkstörungen in einem Tiefpaß verschliffen und einem Verstärker zugeführt, der die nötige Leistung abgeben kann. Dann werden sie mit Hilfe eines Kondensators der Fahrspannung des Normalfahrpultes überlagert. Der Kondensator und eine Drossel verhindern, daß sich die Geräte gegenseitig belasten.

In *Abb. 26* ist die Empfängerschaltung schematisch dargestellt. Die Kondensatoren C1 und C2 sind nur für die 9,5-kHz-Wechselspannung ausreichend durchlässig, Gleichspannungen werden dagegen abgeblockt. Zusammen mit den Dioden D1 und D2 bilden sie zwei Gleichrichterschaltungen, die aus der *ems*-Spannung wieder Fahrgleichspannung gewinnen. Auf Masse bezogen liegt an Meßpunkt 1 eine positive und an Meßpunkt 2 eine negative pulsierende Gleichspannung (*Abb. 27*). Die Höhe der Scheitelwerte U_S bestimmt die Fahrgeschwindigkeit.

Der Tiefpaß, bestehend aus R1 und C3, bildet den Mittelwert $\overline{U}$ der Spannung zwischen Meßpunkt 1 und Masse. Je nach

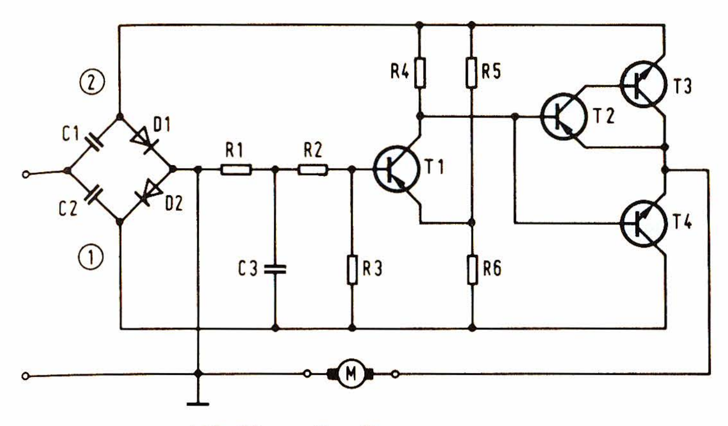


Abb. 26 *ems*-Empfänger

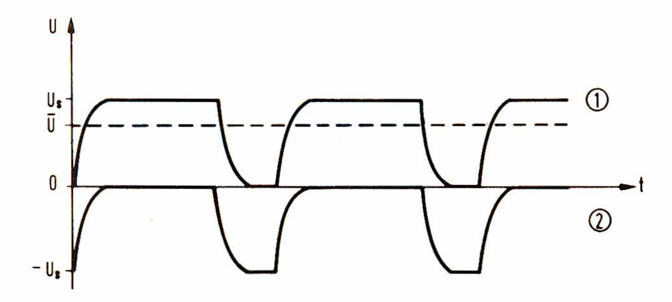


Abb. 27 Spannungsverlauf an den Meßpunkten 1 und 2 in Abb. 26

Impuls–Pause–Verhältnis wird T1 geöffnet oder gesperrt. Öffnet T1, so erhält der Motor über T4 positive Betriebsspannung. Sperrt T1, so leiten T2 und T3, und der Motor wird an negative Betriebsspannung gelegt. Das Impuls–Pause–Verhältnis legt also die Drehrichtung des Motors und damit die Fahrtrichtung der Lokomotive fest.

3.2 Tonfrequenzsteuerungen

Mit Tonfrequenzsteuerungen ist es möglich, mehr als zwei Fahrzeuge auf einem Stromkreis unabhängig voneinander zu betreiben. Dazu ist es nötig, daß an den Schienen stets die volle Fahrspannung anliegt, wobei wir zunächst von einer Gleichspannung ausgehen wollen. Dieser Fahrspannung werden Wechselspannungen im Tonfrequenzbereich überlagert. Für jede Funktion wird eine eigene Frequenz oder, wie man auch sagt, ein eigener Kanal benötigt. Die Lokomotiven erhalten Empfänger, die in der Lage sind, ihre individuelle Frequenz aus dem Frequenzgemisch herauszufiltern. Dazu werden in der Regel Schwingkreise benutzt (*Abb. 28*).

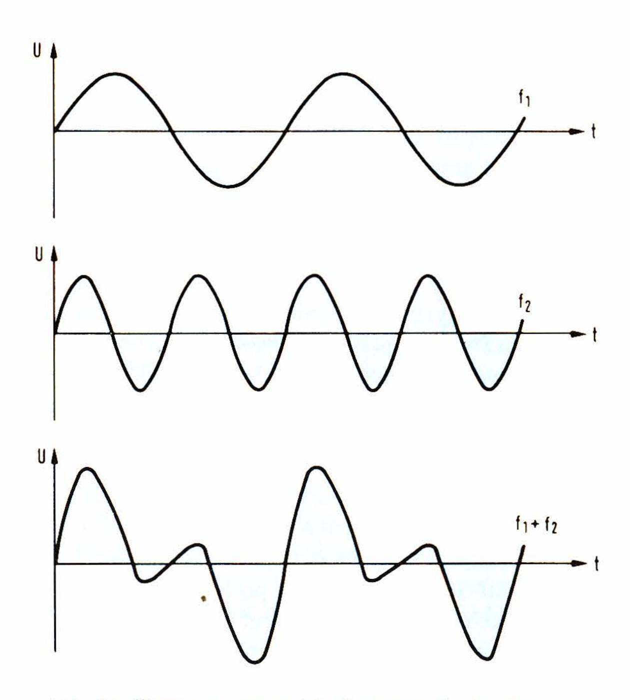
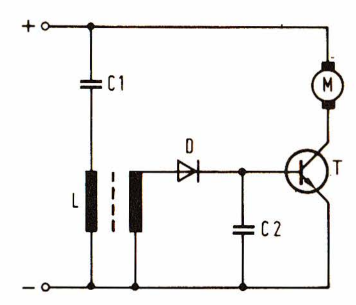


Abb. 28 Überlagerung von Tonfrequenzschwingungen

Abb. 29 Empfängerschaltung



Zur Übertragung der Steuerbefehle werden die Tonfrequenzschwingungen *moduliert,* d.h. dem Trägersignal wird in irgend einer Form eine Nachricht aufgeprägt. Am einfachsten ist es, die Amplitude der Schwingungen zu variieren. Man nennt dieses Verfahren *Amplitudenmodulation. Abb. 29* zeigt das Schaltprinzip eines nach dieser Methode arbeitenden Empfängers. Der Motor M wird an der festen Gleichspannung betrieben. Der Serienschwingkreis C1, L gerät nur bei seiner Eigenfrequenz in Resonanz. Die herabtransformierte Resonanzspannung wird von der Diode gleichgerichtet und vom Kondensator C2 geglättet. Je nach Höhe der Steuerspannung wird der in Reihe mit dem Motor liegende Transistor T mehr oder weniger geöffnet. T arbeitet damit wie ein regelbarer Vorwiderstand, der den Motorstrom und damit die Drehzahl bestimmt.

Diese einfache Methode hat verschiedene Nachteile (z.B. ungünstiger Drehmomentverlauf, hohe Verlustleistung), daher wird in allen praktisch ausgeführten Tonfrequenzsteuerungen eine andere Modulationsart angewandt, die *Pulsdauermodulation.* Bei dieser Variante wird die Höhe der Nf-Spannung konstant gehalten. Die Tonfrequenz wird aber nicht dauernd ausgesandt, sondern in sich ständig wiederholenden Stücken, sogenannten Impulsen (*Abb. 30*). Der den Lokomotivmotor steuernde Transistor wird nur für die Dauer der Impulse völlig geöffnet, in den Impulspausen aber gesperrt. Die Steuerinformation steckt in der Impulsdauer. Kurze Impulse ergeben eine

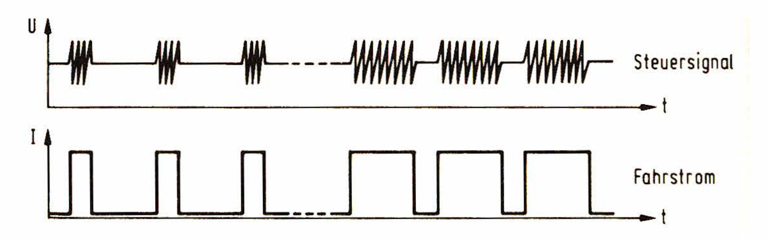


Abb. 30 Pulsdauermodulation: Kurze Impulse ergeben eine niedrige, lange Impulse eine hohe Fahrgeschwindigkeit

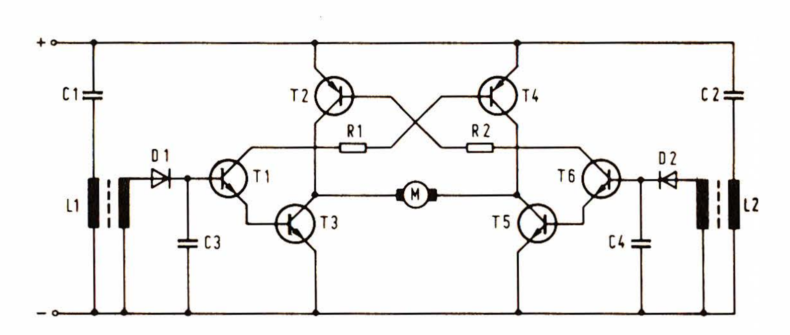


Abb. 31 Empfängerschaltung mit Fahrtrichtungsumsteuerung

geringe Fahrgeschwindigkeit, lange Impulse eine hohe. Diese Art der Drehzahlsteuerung ist sehr effektiv.

Ein vollständiger Lokomotivempfänger braucht zwei Steuerkanäle, einen für Vorwärts- und einen für Rückwärtsfahrt. Der Empfänger wird dadurch natürlich aufwendiger. Neben zwei Schwingkreisen wird auch noch eine Brückenschaltung zur Drehrichtungsänderung benötigt (*Abb. 31*). Wird die Resonanzfrequenz des Schwingkreises L1, C1 an die Schienen gelegt, so öffnen über T1 die Brückentransistoren T3 und T4. Wird der Schwingkreis L2, C2 angesteuert, so öffnen

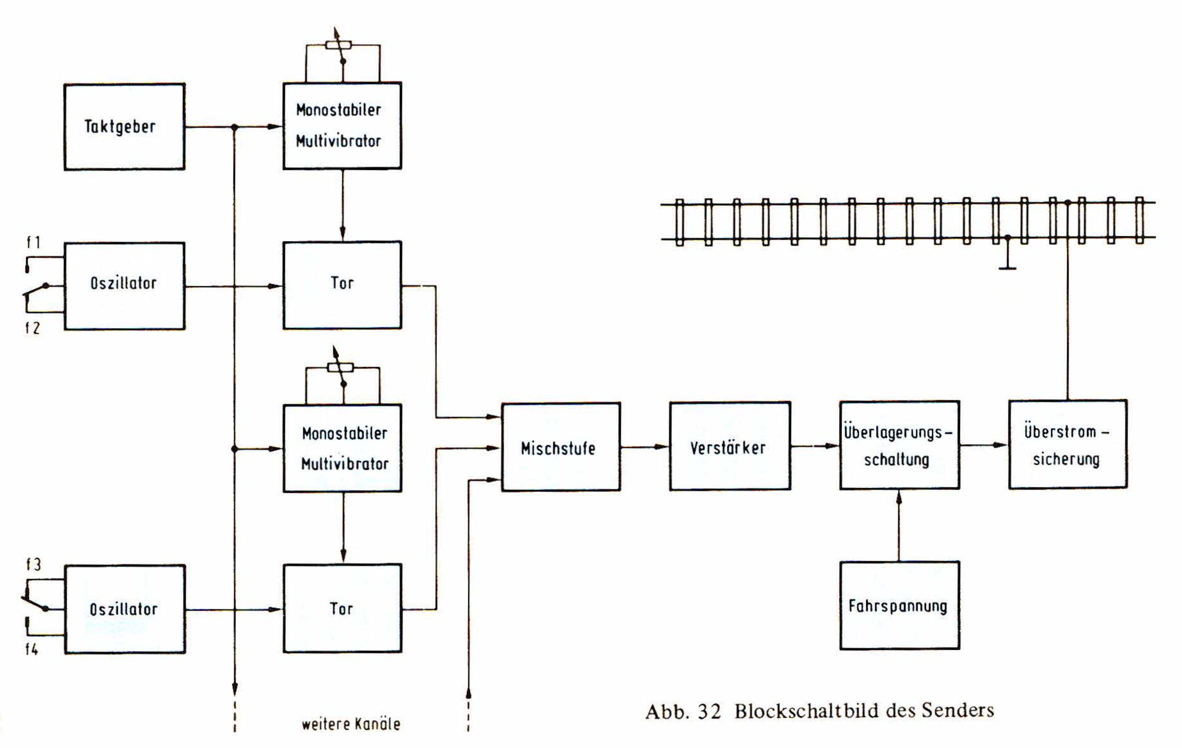


Abb. 32 Blockschaltbild des Senders

über T6 die Brückentransistoren T2 und T5 und der Motor wird umgepolt.

Abb. 32 zeigt das Blockschaltbild des zugehörigen Senders. Pro Lokomotive wird ein Oszillator benötigt, der auf die beiden Frequenzen für Vor- oder Rückwärtsfahrt einstellbar ist. Von einem Taktgeber getriggerte monostabile Multivibratoren geben Rechteckimpulse ab, deren Dauer mit Steuerpotentiometern einstellbar ist. Diese Rechteckimpulse öffnen Torschaltungen, die entsprechend lange Tonfrequenzimpulse aus den Oszillatorsignalen herausschneiden. Die Mischstufe addiert die Signale sämtlicher Kanäle auf und führt sie dem Leistungsverstärker zu. Fahrspannung und Steuersignale werden überlagert und gelangen dann zu den Schienen. Die zwischengeschaltete elektronische Überstromsicherung schützt Fahrspannungsgerät und Leistungsverstärker vor Überlastung im Falle eines Kurzschlusses auf der Anlage. Kommerziell wurde eine solche Anlage von der Firma *Rot* gefertigt; inzwischen ist die Herstellung aber auf wechselnde Firmen übergegangen.

Die Fahrtrichtungsumkehr wird schaltungstechnisch einfacher, wenn anstelle der Gleichspannung eine feste Wechselspannung an das Schienennetz gelegt wird. Man kann dann im Sender dafür

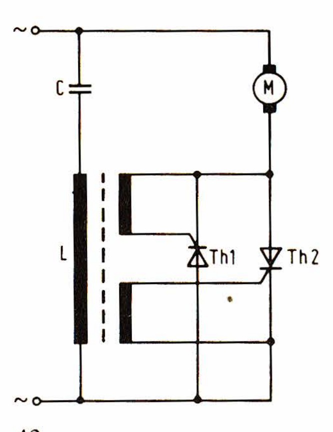


Abb. 33 Empfängerschaltung für Halbwellenbetrieb

sorgen, daß die Steuerimpulse entweder nur während der positiven Halbwelle oder nur während der negativen Halbwelle ausgesandt werden. Dadurch erhält der Motor nur positive oder nur negative Spannungsimpulse. Die Fahrtrichtung ist also mit nur einem Kanal vom Sender aus zu steuern. Man bezeichnet diese Betriebsart als *Halbwellenbetrieb.* Der Empfänger wird in solchen Anlagen meist mit Thyristoren ausgerüstet (*Abb. 33*). Die Tonfrequenzimpulse schalten bei Resonanz je nach gewünschter Fahrtrichtung einen der beiden Thyristoren durch. Der Thyristor leitet nun solange, bis der Wechselstrom wieder durch null geht. Je früher der Thyristor innerhalb der Halbwelle gezündet wird, d.h. je größer der Phasenwinkel ist, um so schneller fährt die Lok. (*Abb. 34*) verdeutlicht noch einmal das Prinzip dieser *Phasenanschnittsteuerung.* Solche Steuerungen wurden von der Firma *Astrac* gebaut. Auch die *Phillips*-Anlage arbeitet nach diesem Prinzip. Das Thema Tonfrequenzsteuerungen wird in einer Reihe von Bauanleitungen ausführlich behandelt [3, 4, 5, 6, 7].

Bei den bisher besprochenen Anlagen werden die verschiedenen Steuerfrequenzen einander überlagert, also gleichzeitig ausgesandt (*Frequenzmultiplex*betrieb). Man kann auch einen anderen Weg gehen und die Tonfrequenzpakete nacheinander aussenden. Diese Art der Übertragung wird *Zeitmultiplex*betrieb genannt. Auch hier erfolgt die Geschwindigkeitsregelung über die einstellbaren Impulsdauern. Da die einzelnen Kanäle aber nur einen Bruchteil der gesamten Periodendauer einnehmen, muß der Empfänger die Impulse proportional dehnen. Der Sender einer solchen Anlage ist besonders einfach. Im Empfänger können anstelle von Schwingkreisen integrierte PLL-Schaltungen (*p*hase *l*ocked *l*oop) eingesetzt werden. Damit entfällt das lästige Spulenwickeln. Eine solche Anlage wird von der Firma *Salota* angeboten. Für das Frequenzmultiplexverfahren sind PLL-Kreise nicht geeignet.

Schließlich kann man darauf verzichten, die Steuersignale zusammen mit der Fahrspannung über die Schienen zum Empfänger zu leiten. Von den drei Möglichkeiten Funk-, Ultra-

schall- und Infrarotfernsteuerung ist bisher aber nur das letztgenannte Verfahren in Form einer Bauanleitung ausgearbeitet worden [8].

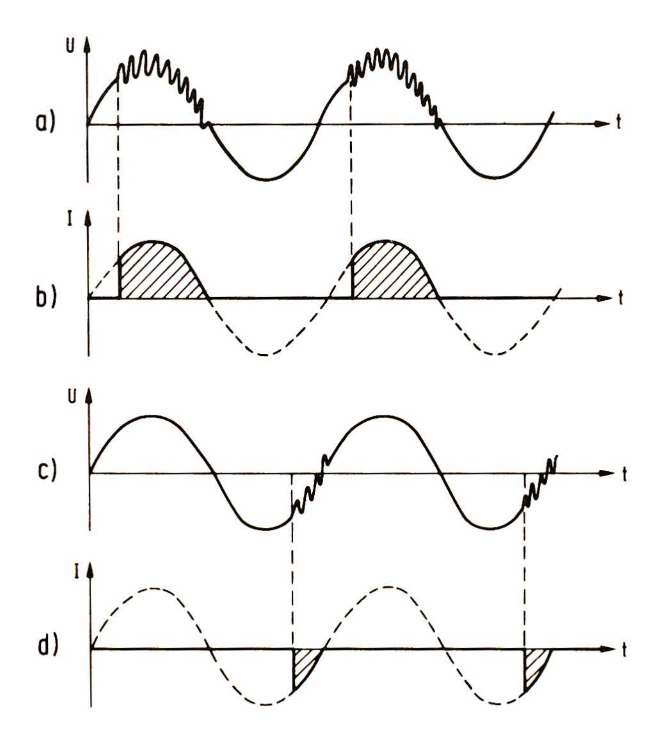


Abb. 34 Halbwellen-Phasenanschnittsteuerung
a) Die Steuersignale sind der positiven Halbwelle der Fahrspannung überlagert, der Phasenwinkel ist groß: schnelle Fahrt vorwärts.
b) Zu a gehöriger Motorstrom.
c) Die Steuersignale sind der negativen Halbwelle der Fahrspannung überlagert, der Phasenwinkel ist klein: langsame Fahrt rückwärts.
d) Zu c gehöriger Motorstrom

3.3 Digitalanlagen

Der Übergang von Analog- zu Digitalanlagen ist fließend. So sind die Begriffe Impulsdauermodulation und Zeitmultiplexverfahren, die hier eine Rolle spielen, auch schon im vorhergehenden Kapitel aufgetaucht. Wir wollen aber unter Digitalanlagen solche verstehen, die ohne Tonfrequenzen als Hilfsträger auskommen, bei denen also nicht Schwingkreise oder andere Analogschaltungen für die Selektion der Kanäle sorgen.

Die Steuerbefehle werden bei den Digitalanlagen im Pulsmodulationsverfahren übermittelt, d.h. es werden Impulsfolgen ausgesandt, in denen alle Informationen stecken, die die verschiedenen Empfänger benötigen. Die Impulse können im einfachsten Fall zur festen Fahrspannung addiert werden (*Abb. 35*). Im Empfänger reicht eine Zenerdiode, um die Steuerimpulse wieder von der Fahrspannung zu trennen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Fahrspannung in bestimmten Zeitabschnitten umzupolen. Der Empfänger erkennt die Polaritäts-

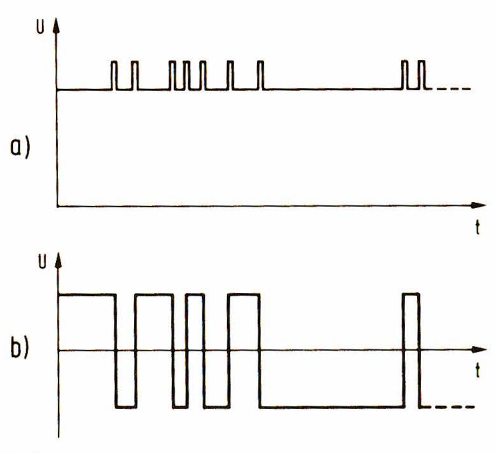


Abb. 35 Übertragung der Steuerbefehle bei Digitalanlagen: a) durch Überspannungsimpulse, b) durch Polaritätswechsel

wechsel und leitet daraus seine Steuerimpulse ab. Die Betriebsspannung wird durch Gleichrichtung der Wechselspannung gewonnen.

Drei Pulsmodulationsverfahren sollen besprochen werden: die *Pulsdauermodulation* (PDM), die *Pulspositionsmodulation* (PPM) und die *Pulscodemodulation* (PCM).

3.3.1 Digitalanlagen mit Pulsdauermodulation (PDM)

Die gewünschte Fahrgeschwindigkeit wird im Fahrpult an einem Potentiometer eingestellt. Die Information liegt also zunächst als Spannung vor. Nun ist es aber nicht nötig, diesen Spannungsverlauf ununterbrochen zu übertragen, sondern es genügt, der Lokomotive in kurzen zeitlichen Abständen einzelne Spannungswerte zu übermitteln. Wählt man als Abtastfrequenz 50 Hz, so reagieren die Loks mit einer Verzögerung von maximal

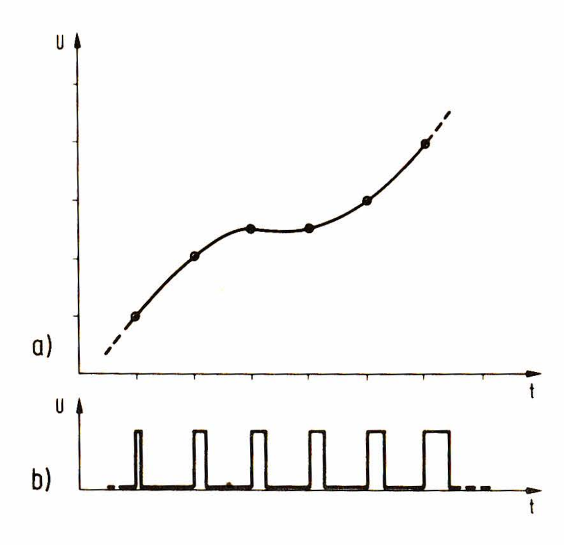


Abb. 36 Pulsdauermodulation. a) Signal (Fahrgeschwindigkeit), b) modulierte Impulse

20 ms, was im praktischen Betrieb natürlich überhaupt nicht auffällt. *Abb. 36* zeigt, wie die Spannungswerte im Pulsdauermodulationsverfahren übertragen werden. Die obere Kurve gibt den gewünschten Geschwindigkeitsverlauf wieder. Im unteren Teil ist die zugehörige Impulsfolge dargestellt. Die Dauer der Impulse entspricht dem momentanen Spannungswert im Abtastzeitpunkt.

In den Impulspausen können die Befehle für weitere Loks übertragen werden. Man kommt so zu einer Mehrkanalanlage nach dem Zeitmultiplexverfahren. Damit ein Empfänger erkennen kann, welcher Impuls für ihn bestimmt ist, müssen Sender und Empfänger synchronisiert werden. Dazu wird nach jeder Impulsfolge eine Pause gesendet, die groß gegen die Pausen zwischen den Einzelimpulsen ist (*Pausensynchronisation*). Der Empfänger erkennt diese Pause und setzt einen Zähler auf null. Nun werden die nach der Pause einlaufenden Impulse abgezählt. Die Empfänger sind so programmiert, daß jeder nur einen ganz bestimmten Impuls aus der Reihe an den Schaltverstärker weiterleitet, der dann die Fahrgeschwindigkeit bestimmt. Auch die Fahrtrichtung wird mit Hilfe der Impulsdauer festgelegt, dazu jedoch mehr in Kapitel 4. Eine englischsprachige Bauanleitung für eine PDM-Steuerung findet man in [9].

3.3.2 Digitalanlagen mit Pulspositionsmodulation (PPM)

Das PPM-Verfahren hat große Ähnlichkeit mit dem PDM-Verfahren, es leitet sich schaltungstechnisch von ihm ab. Anstatt die Steuerimpulse selbst auszusenden, wird durch kurze Impulse von gleichbleibender Dauer ihr Anfang und Ende gekennzeichnet. Die Information für den ersten Kanal wird durch den zeitlichen Abstand des zweiten vom ersten Impuls repräsentiert, die Information für den zweiten Kanal entsprechend vom Abstand des dritten vom zweiten, usw. . Der Empfänger arbeitet wie ein PDM-Empfänger. Mehr soll an dieser Stelle nicht gesagt werden, da die Nachbauanlage nach diesem Prinzip arbeitet und in den Kapiteln 4, 5 und 6 noch ausführliche Erläuterungen folgen.

3.3.3 Digitalanlagen mit Pulscodemodulation (PCM)

Die PCM–Steuerung ist die aufwendigste Art der Mehrzugsteuerung. Das Prinzip soll aber dargestellt werden, da in jüngster Zeit solche Anlagen unter dem Namen *Zero 1* auf den Markt gekommen sind, und zwar durch die Firma *Hornby* (England). Auch *Märklin* und *Trix* experimentieren mit diesem System (*Selectrix 99*).

Dem aufmerksamen Leser wird nicht entgangen sein, daß bei den gerade besprochenen Systemen die eigentlichen Steuerinformationen, nämlich die Impulsdauer bzw. Impulsabstände, *analoge* Größen sind. Trotzdem nennt man diese Anlagen, vor allem in der Funkfernsteuertechnik, Digital-Proportional-Fernsteuerungen, eben weil bei der Signalerzeugung und -verarbeitung digitale Techniken angewandt werden. Die PCM–Steuerung ist aber eine Digitalanlage reinsten Wassers, weil hier auch die Steuerbefehle digitalisiert werden.

In *Abb. 37* ist das Prinzip der Pulscodemodulation wiedergegeben. Die Steuerspannungen, die wiederum den gewünschten Geschwindigkeiten entsprechen, werden bei der Abtastung *quantisiert*, d.h. man vergleicht mit Festwerten einer Skala und sieht nach, in welches Intervall sie fallen. Nun werden diese

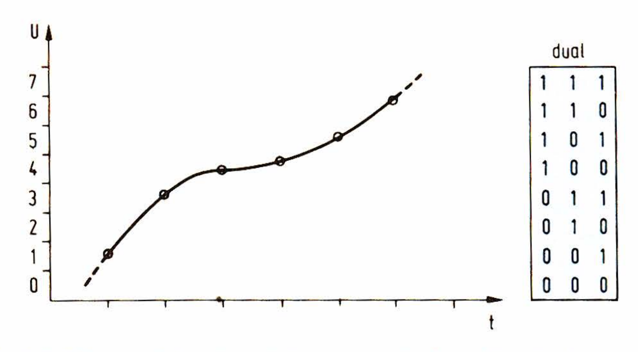


Abb. 37 Bei der Pulscodemodulation wird das Signal bei der Abtastung quantisiert und als Dualzahl dargestellt

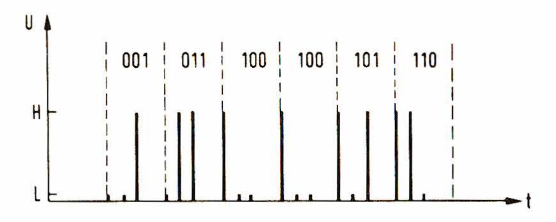


Abb. 38 Die Dualzahl wird in Form von Impulsen (Codewörtern) übertragen

Werte *kodiert,* indem jede einzelne Amplitudenstufe durch eine Gruppe von Impulsen dargestellt wird (*Abb. 38*).

Im Beispiel besteht das Codewort aus drei Impulsen. Jedem von ihnen ist eine Zahl zugeordnet, dem ersten 2^2 (= 4), dem zweiten 2^1 (= 2) und dem letzten 2^0 (= 1). Das Auftreten eines dieser Impulse bedeutet die entsprechende Zahl, bei mehreren Impulsen sind ihre Zahlenwerte zu addieren. Ist z.B. in einer Impulsgruppe der erste und der zweite Impuls vorhanden, so bedeutet das Fahrstufe 6 ($2^2 + 2^1 = 6$). Ist kein Impuls vorhanden, so zeigt das Fahrstufe 0 gleich Stillstand an.

Die einzelnen Impulse sind Nachrichtenelemente, die nur zwei Werte annehmen können (vorhanden – nicht vorhanden, ja – nein, 0 – 1 usw.). Den Informationsgehalt solcher Elemente bezeichnet man als *Bit* (*bi*nary digi*t*), und das auf ihnen aufgebaute Zahlensystem als Binär- oder Dualsystem (siehe S. 18).

Der Lokomotivempfänger muß jedes Codewort wieder in einen Spannungswert und damit in eine Fahrstufe umwandeln. Die Information Vor- oder Rückwärtsfahrt kann man durch einen vierten Impuls in der Gruppe geben. Wenn 1 z.B. Vorwärtsfahrt und 0 Rückwärtsfahrt bedeuten, gibt die Vierergruppe 1101 den Befehl: Vorwärtsfahrt mit Fahrstufe 6.

Um mehrere Lokomotiven zu steuern, wendet man wieder das Zeitmultiplexverfahren an. Man überträgt also erst das Codewort für die Lok 1, dann das Codewort für die Lok 2 usw. . Erst wenn alle Befehle einmal übertragen sind, ist wieder Lok 1 an der Reihe.

Die *Abb. 39* und *40* zeigen das Blockschema einer Übertragungsstrecke nach dem PCM-Zeitmultiplexbetrieb. Der Multiplexer tastet die Steuerspannungen der verschiedenen Kanäle ab und schaltet sie nacheinander auf den Analog-Digital-Wandler. Die erzeugten Codewörter werden in ein Schieberegister eingelesen und dann in Serie ausgegeben. Sind alle Befehle übertragen, wird ein Synchronisierimpuls gesendet, der sich von den anderen z.B. durch eine größere Impulsdauer unterscheidet. Im Empfänger werden die einlaufenden Zeichen zu Rechteckimpulsen regeneriert, der Synchronisierimpuls wird abgetrennt. Er steuert den Taktgenerator so, daß Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger gewährleistet ist. Die Codewörter werden seriell in ein Schieberegister gelesen. Die an den Parallelausgängen anstehenden Dualzahlen werden dann in einem Digital-Analog-Wandler in Steuerspannungen umgesetzt, die der Demultiplexer auf die verschiedenen

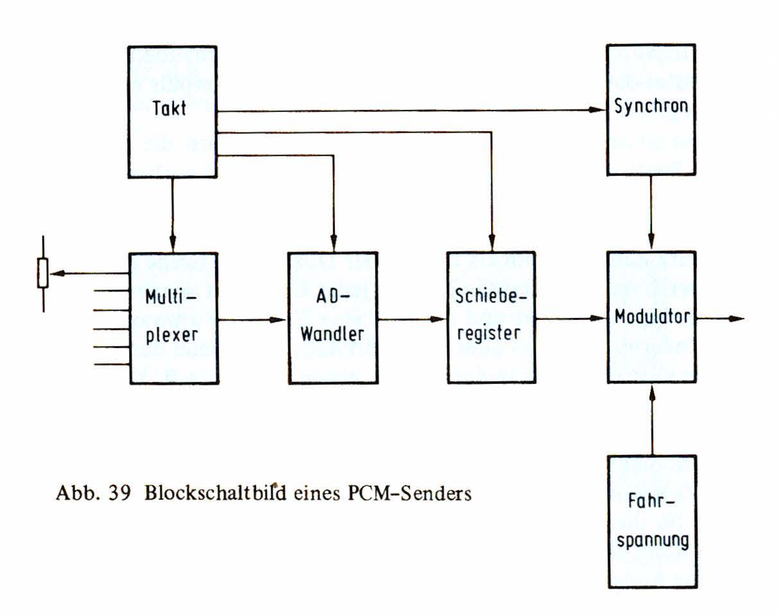


Abb. 39 Blockschaltbild eines PCM-Senders

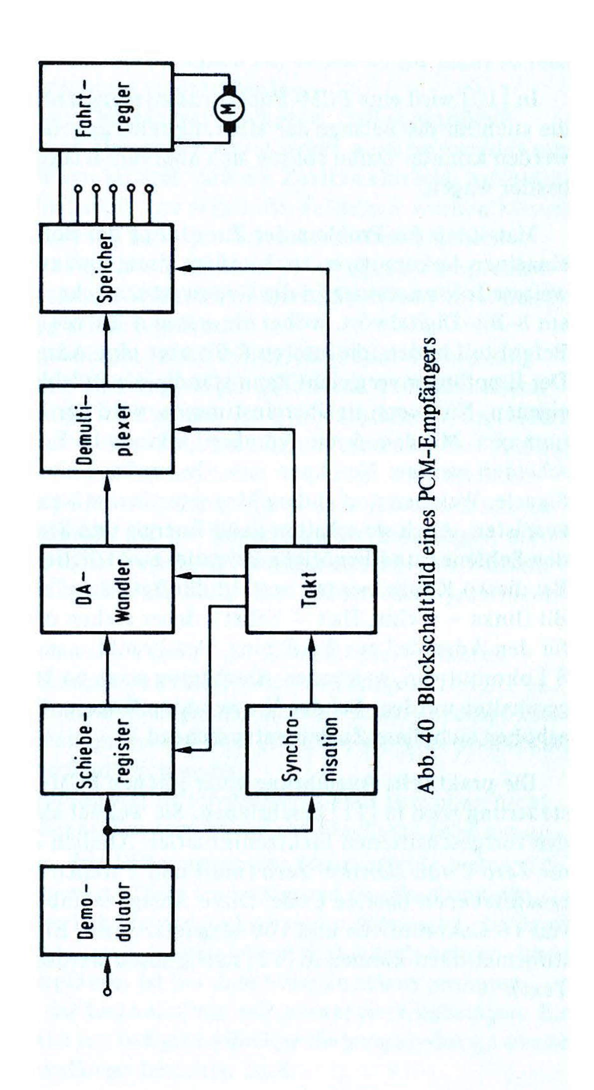


Abb. 40 Blockschaltbild eines PCM-Empfängers

Kanäle verteilt. Ein Speicher hält die Informationen bis zum nächsten Befehlszyklus fest. Schließlich setzen Fahrtregler die Steuerspannungen in proportionale Geschwindigkeiten um.

In [10] wird eine PCM-Funkfernsteuerungsanlage beschrieben, die auch für die Belange der Mehrzugsteuerung modifiziert werden könnte. Daran sollten sich aber nur erfahrene Elektronikbastler wagen.

Man kann das Problem der Zuordnung der Befehle auf die einzelnen Lokomotiven auch anders lösen, und zwar indem man weitere Informationen in die Codewörter steckt. Man nimmt z.B. ein 8-Bit-Digitalwort, wobei die ersten 4 Bit wie gehabt den Befehlsteil bilden, die letzten 4 Bit aber eine Adresse darstellen. Der Empfänger vergleicht dann ständig die Befehlsadresse mit seiner eigenen. Nur wenn sie übereinstimmen, wird der Befehl übernommen. Mit dem 4-Bit-Adreßteil können 16 Lokomotiven unterschieden werden. Nun kann man aber außer Lokomotiven auch Signale, Weichen und andere Magnetartikel mit einem Empfänger ausrüsten. Auch sie erhalten dann Energie und Steuerbefehle aus den Schienen und benötigen keinerlei zusätzliche Verdrahtung. Bei diesen Komponenten besteht der Befehlsteil nur aus einem Bit (links – rechts, Halt – Fahrt), daher stehen die anderen 7 Bit für den Adreßteil zur Verfügung. Beschränkt man sich z.B. auf 8 Lokomotiven, so können gleichzeitig noch 64 Magnetartikel geschaltet werden. Bei der Verwendung längerer Codewörter erhöhen sich diese Zahlen entsprechend.

Die praktische Ausführung einer solchen PCM-Mehrzugsteuerung wird in [11] beschrieben. Sie wendet sich ebenfalls an den fortgeschrittenen Elektronikbastler. Ähnlich arbeitet auch die *Zero 1* von *Hornby*. Zero (null) und 1 stehen für den beschriebenen binären Code. Diese Anlage erlaubt den Betrieb von 16 Lokomotiven und 100 Magnetartikeln. Einige zusätzliche Informationen können in [12] nachgelesen werden (englischer Text).

3.4 Systemvergleich

Die vorhergehenden Abschnitte haben gezeigt, welche Vielzahl von Steuerungssystemen möglich ist, und es ist gar nicht so leicht, sich für ein bestimmtes zu entscheiden.

Bemerkenswert an der *ems*-Anlage ist, daß vorhandene Lokomotiven und Fahrgeräte unverändert weiterverwendet werden können. Hinzu kommt, daß die Zusatzelektronik unkompliziert ist und die Empfänger sehr klein aufgebaut werden können. Da sich aber nur zwei Loks pro Stromkreis einsetzen lassen, ist dieses System doch nur für kleinere Anlagen zu empfehlen. Außerdem ist nicht, wie bei den anderen Systemen, eine Dauerzugbeleuchtung mit inbegriffen.

Tonfrequenzanlagen haben bisher die größte Verbreitung unter den echten Mehrzuganlagen gefunden. Auch hier lassen sich die Empfängerschaltungen stark miniaturisieren, besonders im Falle der Halbwellen-Phasenanschnittsteuerung. Der Aufwand für den Sender ist jedoch erheblich. Um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, sind umfangreiche Abstimmarbeiten nötig. Hinzu kommt, daß die Kernstücke der Empfänger, die Schwingkreise, selbst angefertigt werden müssen. Das Wickeln von Spulen mit haarfeinen Drähten ist jedoch nicht jedermanns Sache.

Tonfrequenzanlagen nach dem Zeitmultiplexverfahren gestatten den Einsatz von integrierten Selektionsmitteln (PLL), kommen also ohne Schwingkreise aus. Die Bauart bedingt aber Steuerfrequenzen im Bereich von 100 kHz, was eine postalische Genehmigung erforderlich macht.

Die Verwendung von Infrarotsendern oder ähnlichen nicht leitungsgebundenen Sendern ist meines Erachtens nach ein unnötiger Umweg. Zur Übertragung der Steuerbefehle bieten sich doch die Schienen an. Diese sind aufgrund der gleichzeitigen Übertragung der Fahrströme nicht frei von Störungen, die damit zusammenhängenden Schwierigkeiten sind jedoch beherrschbar. Der Infrarotempfänger ist bei dem ohnehin schon beengten Raumangebot der Lokomotiven nur schwer unterzubringen. Ein weiterer Nachteil ist, daß eine ständige Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger bestehen muß.

Digitalanlagen mit Pulsdauer- oder Pulspositionsmodulation sind einfach und klar in der Funktion und erfordern nur überall erhältliche Standardbauelemente. Für die PPM-Steuerung spricht, daß dieses System in allen heute üblichen Funkfernsteuerungsanlagen verwendet wird. Die Anlage arbeitet störsicher und ist einfach abzugleichen. Die Senderschaltung ist vom Aufwand her geradezu simpel. Die gegenüber Tonfrequenzsteuerungen mit Schwingkreisen geringfügig größeren Empfänger sind noch gut in den meisten Lokomotiven unterzubringen. Diese Gründe bewogen den Verfasser, seine Anlage mit einer PPM-Steuerung auszurüsten, die zur vollen Zufriedenheit arbeitet und deren Bau in diesem Buch beschrieben wird.

Die PCM-Steuerung ist sicherlich zukunftsweisend, sie ist wie man sagt „on the state of the art". Für eine Selbstbauanlage ist sie aber leider viel zu aufwendig. Mit den üblichen Bauelementen ausgerüstet, ist der Empfänger nicht in einer HO-Lok unterzubringen. Man ist auf einen hochintegrierten Spezialbaustein angewiesen, der bisher aber noch nicht im Handel zu erwerben ist. Der Sender ist vernünftigerweise nur mit Hilfe eines Mikroprozessors zu realisieren. Viele der Vorzüge der industriell gefertigten Anlagen basieren auf einem ausgefeilten Programm. Ein Nachbau setzt also gute Programmierkenntnisse voraus und wird wenigen Spezialisten vorbehalten bleiben. Neben *Hornby* werden aber sicher auch andere Firmen diese Technologie aufgreifen.

Ein englischsprachiger Testbericht verschiedener kommerzieller Systeme ist in [13] nachzulesen. Er bezieht sich allerdings weitgehend auf den amerikanischen Markt.

4 Baugruppen und Funktionsprinzip der PPM-Mehrzugsteuerung

4.1 Fahrspannung

Ziel der Steuerelektronik ist es, mehrere Lokomotiven völlig unabhängig voneinander auf einem Stromkreis zu betreiben. Das setzt zunächst einmal voraus, daß an den Schienen stets die volle Fahrspannung liegt. Würde man diese verändern, so müßte sich das ja auf alle Loks gleichzeitig auswirken. Wir verwenden eine konstante Gleichspannung, der bestimmte Steuerimpulse überlagert werden. Es ist eine Überstromsicherung vorgesehen, die den Fahrstrom im Falle eines Kurzschlusses auf der Gleisanlage abschaltet.

4.2 Übertragung der Steuerbefehle

Wie der Name Pulspositionsmodulation schon sagt, steckt die Steuerinformation für die Lokomotiven in der Position der Steuerimpulse, exakt ausgedrückt, in deren zeitlichen Abständen (*Abb. 41*). Diese werden von Stellwiderständen im Sender festgelegt und können zwischen minimal 1 ms und maximal 2 ms variiert werden. Die Befehle werden im Zeitmultiplexbetrieb nacheinander ausgesandt. Der Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Impuls ist die Information für Lok 1, der Abstand zwischen dem zweiten und dem dritten Impuls ist die Information für Lok 2 usw. . Haben alle Loks ihren Steuerbefehl erhalten, wird eine Synchronisationspause eingelegt, die für den Gleichlauf von Sender und Empfänger sorgt. Das ist nötig, damit eine feste Zuordnung zwischen den einzelnen Stellwiderständen und den zugehörigen Loks eingehalten wird. Dann geht es wieder von vorne los. Die einzelnen Zyklen laufen innerhalb von 20 ms ab, also so schnell, daß alle Loks scheinbar gleichzeitig gesteuert werden können (*Simultanbetrieb*).

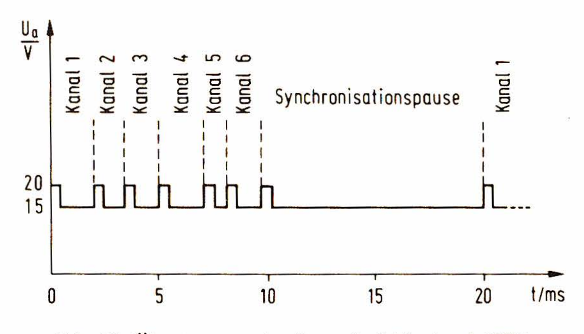


Abb. 41 Übertragung der Steuerbefehle durch PPM

4.3 Herkömmliche Impulsteile

Wie ein PPM-Impulsteil zu realisieren ist, zeigt das Blockschaltbild in *Abb. 42*. Solche Schaltungen wurden in den ersten digitalen Funkfernsteueranlagen verwendet. Sie eignen sich gut, das Funktionsprinzip einer PPM-Anlage näher zu erläutern. Der nachher praktisch ausgeführte Impulsteil ist schaltungstechnisch eleganter, aber auch ein wenig schwieriger zu überblicken. Seine Darstellung erfolgt später.

Das Impulsdiagramm in *Abb. 43* zeigt die Spannungsverläufe an den im Blockschaltbild durch Zahlen markierten Meßpunkten. Als Taktgeber fungiert ein astabiler Multivibrator. Seine Frequenz beträgt 50 Hz, entsprechend der Periodendauer von 20 ms (Meßpunkt 1). Der Taktgeber stößt eine Kette von sechs Monoflops an, man sagt kurz, er „triggert" sie. Die abfallende Flanke triggert das Monoflop MF 1. Die Dauer seines Ausgangsimpulses hängt von der Stellung des Potentiometers P1 ab und kann im Bereich 1 . . . 2 ms variiert werden. Mit der Rückflanke dieses Impulses wird das Monoflop MF 2 getriggert, dessen Impulsdauer in gleicher Weise einstellbar ist, usw. bis MF 6. Die einstellbaren Ausgangsimpulse der Monoflops wollen wir *Kanalimpulse* nennen, ihre Dauer regelt Geschwindigkeit und Fahrtrichtung der zugehörigen Loks (Meßpunkte 2 bis 7). Zwei NOR-Gatter G1 und G2

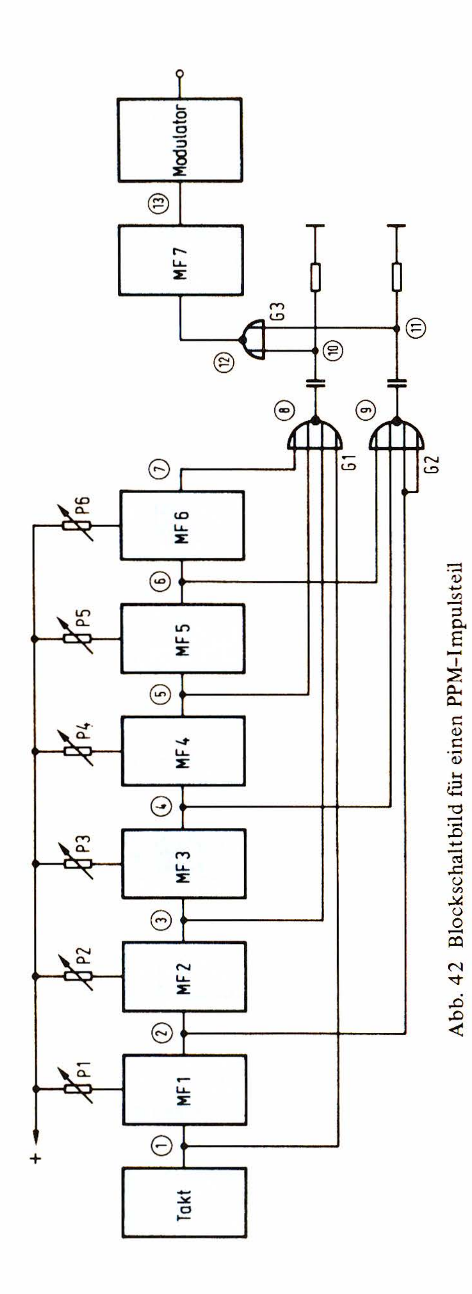


Abb. 42 Blockschaltbild für einen PPM-Impulsteil

sammeln die Impulse. Sie stehen in invertierter Form an den Gatterausgängen an (Meßpunkte 8 und 9). Zwei Differenzierglieder bilden aus der positiven Flanke der Ausgangsimpulse nadelförmige Impulse (Meßpunkte 10 und 11). Das Gatter G3 sammelt

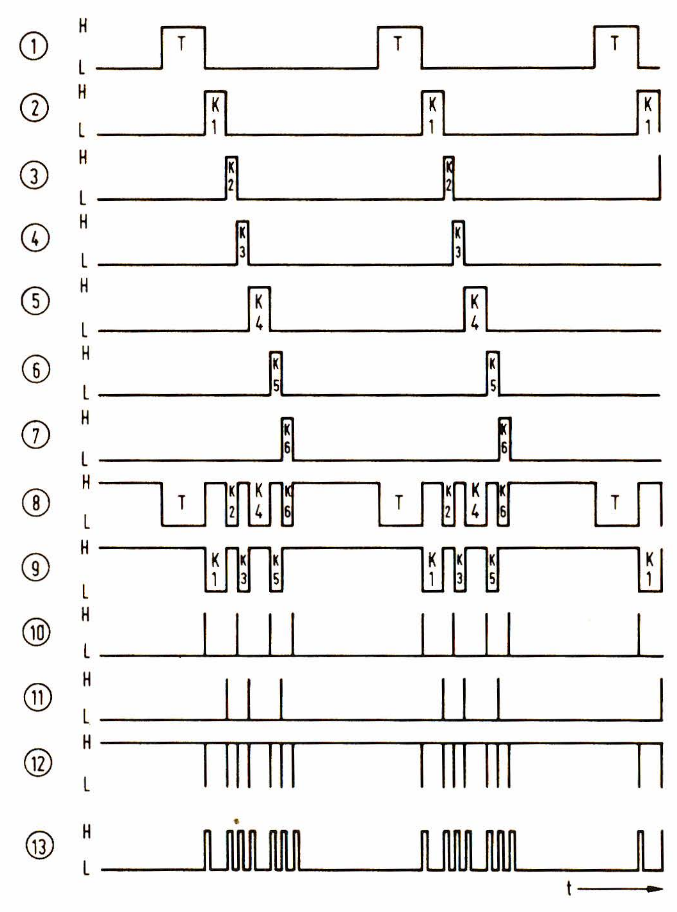


Abb. 43 Impulsdiagramm zu Abb. 42

die Nadelimpulse, invertiert sie (Meßpunkt 12) und gibt sie auf ein weiteres Monoflop MF 7, das die Nadelimpulse in Rechteckimpulse mit einer konstanten Dauer von 0,4 ms umwandelt (Meßpunkt 13). Diese Impulse tasten die Fahrspannung auf 20 V gegenüber sonst 15 V, man kann sie daher als *Tastimpulse* bezeichnen. Die Zeit zwischen der Vorderflanke des ersten und des zweiten Tastimpulses ist gleich der Dauer des ersten Kanalimpulses, bildet also die Information des Kanals 1. Entsprechendes gilt für die Zeit zwischen der Vorderflanke des zweiten und des dritten Tastimpulses usw. . Die Pulspositionsmodulation ist also dadurch gekennzeichnet, daß die Kanalimpulse nicht selbst ausgesandt werden, sondern dafür Steuerimpulse, die Anfang und Ende der Kanalimpulse markieren.

Bei einer maximalen Kanalimpulsdauer von 2 ms ergibt sich zwischen dem letzten Steuerimpuls einer Reihe und dem ersten der folgenden eine Pause von mindestens 7,6 ms. Diese Pause ist erheblich größer als die Pausen zwischen den einzelnen Steuerimpulsen und kann vom Empfänger sicher erkannt werden.

4.4 Dekoder und Fahrtregler

Die Steuerimpulse gelangen zusammen mit der Fahrspannung zu den Lokomotivempfängern. Der Empfänger muß den ihm zugedachten Befehl aus der Impulskette herauslesen (dekodieren) und über einen Fahrtregler in die gewünschte Geschwindigkeit und Fahrtrichtung umsetzen.

Dekoder

Das Blockschaltbild (*Abb. 44*) erläutert das Arbeitsprinzip des Dekoders, das Impulsdiagramm (*Abb. 45*) zeigt den Spannungsverlauf an den eingezeichneten Meßpunkten. Der Impulsformer trennt die Steuerimpulse von der Fahrspannung ab (Meßpunkte 1 und 2) und leitet sie zu einem Impulszähler. Dieser startet jeweils den Zählvorgang, nachdem er von der Synchronisationsstufe auf null gesetzt worden ist. Das Synchronisationssignal wird an einem Kondensator abgegriffen, der sich in der Zeit zwischen zwei Steuerimpulsen über einen Widerstand auflädt.

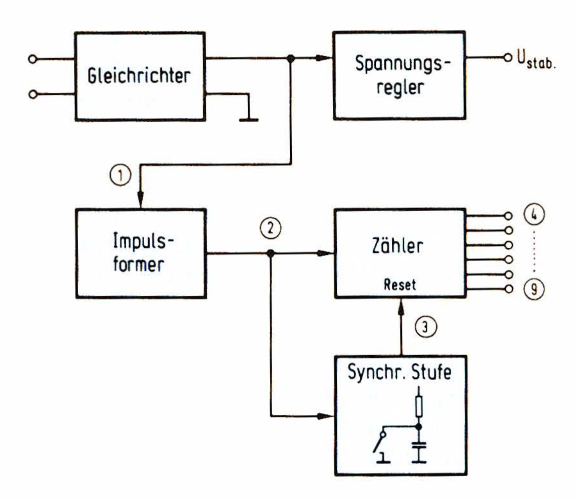


Abb. 44 Blockschaltbild eines PPM-Dekoders

Trifft ein Steuerimpuls ein, so wird der Kondensator wieder schlagartig über einen Schalttransistor entladen. Die Zeit zwischen zwei Steuerimpulsen reicht nicht aus, den Kondensator soweit aufzuladen, daß seine Spannung die Schwellspannung U_{res} des Rücksetzeingangs (Reset) des Zählers erreicht. Die Synchronisationspause zwischen zwei Impulszügen ist dagegen lang genug (Meßpunkt 3).

Der Zähler verteilt die verschiedenen Kanalinformationen auf seine Ausgänge. Dabei wandelt er die Pulspositionsmodulation in eine Pulsdauermodulation um. Beim Eintreffen des ersten Impulses schaltet der Zähler von „0“ auf „1“, beim zweiten Impuls auf „2“ usw. . Am Ausgang „1“ stehen also Impulse an, deren Dauer gleich dem Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Steuerimpuls ist. Für die restlichen Kanäle gilt das Entsprechende (Meßpunkte 4 . . . 9). Mittels einer Drahtbrücke wird der Fahrtregler einer jeden Lok mit dem gewünschten Zählerausgang verbunden.

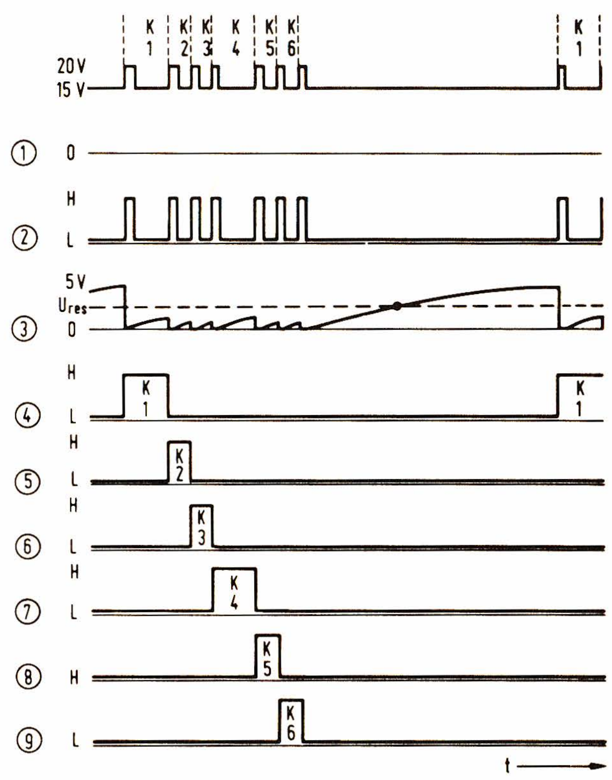


Abb. 45 Impulsdiagramm zu Abb. 44

Fahrtregler

Der Fahrtregler soll eine stufenlos einstellbare Geschwindigkeit bei umschaltbarer Fahrtrichtung ermöglichen. Dazu erzeugt er Referenzimpulse von 1,5 ms Dauer, mit denen er die einlaufenden Impulse vergleicht. Haben diese eine Dauer von ebenfalls 1,5 ms, so bedeutet das für die Lok „Stillstand". Sind die Impulse länger, so fährt die Lok in eine vorbestimmte Richtung, und zwar umso

schneller, je länger die Impulse werden. Maximale Geschwindigkeit wird bei 2 ms Impulsdauer erreicht. Sind die Impulse kürzer als 1,5 ms, so fährt die Lok in die andere Richtung. Die Geschwindigkeit wird nun umso größer, je kürzer die Impulse sind, bis schließlich die maximale Geschwindigkeit in dieser Richtung bei 1 ms Impulsdauer erreicht wird. Die Stellung der Regler im Sender und die Fahrgeschwindigkeit sind einander proportional, daher wird diese Art der Steuerung *Proportionalsteuerung* genannt.

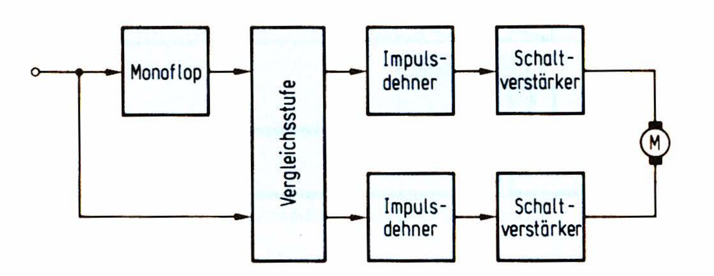


Abb. 46 Blockschaltbild eines Fahrtreglers

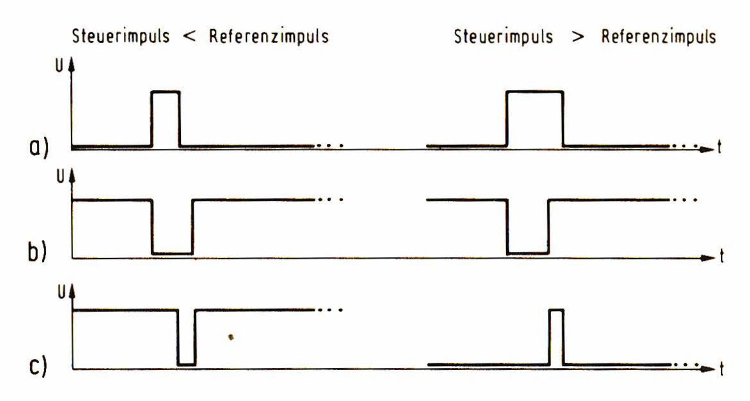


Abb. 47 Der Differenzimpuls c entsteht durch Vergleich von Steuerimpuls a und Referenzimpuls b

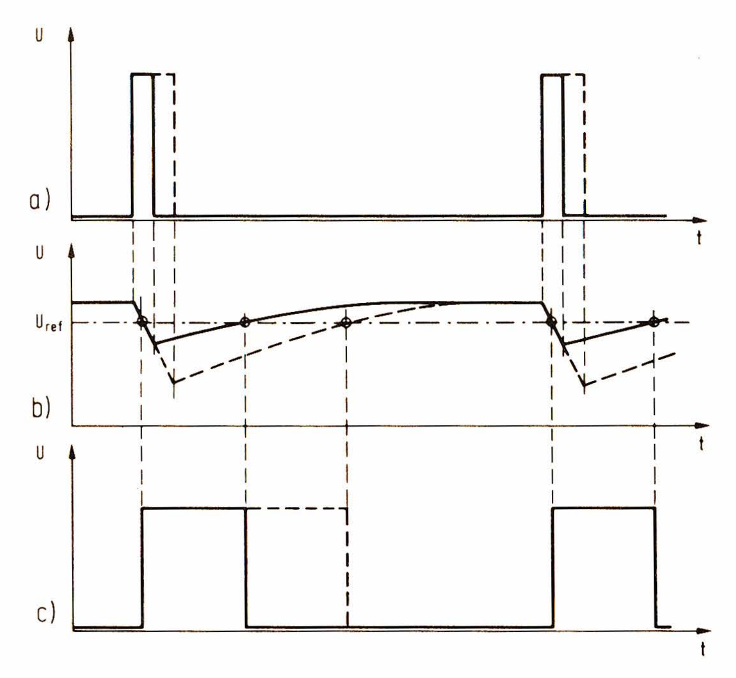


Abb. 48 Impulsdehnung. a) Steuerimpulse, b) Spannungsverlauf am Kondensator, c) gedehnte Impulse

Im Blockschaltbild *Abb. 46* ist der Fahrtregler in Funktionsgruppen untergliedert. Die Vorderflanken der Eingangsimpulse triggern einen monostabilen Multivibrator, der die Referenzimpulse abgibt. Eingangsimpulse und Referenzimpulse haben entgegengesetzte Polarität. Die Impulse werden verglichen, wobei Differenzimpulse entstehen. Diese sind positiv, wenn die Eingangsimpulse länger sind als die Referenzimpulse. Sind sie kürzer, so sind die Differenzimpulse negativ. Durch die Polarität wird die Laufrichtung des Motors festgelegt (*Abb. 47*).

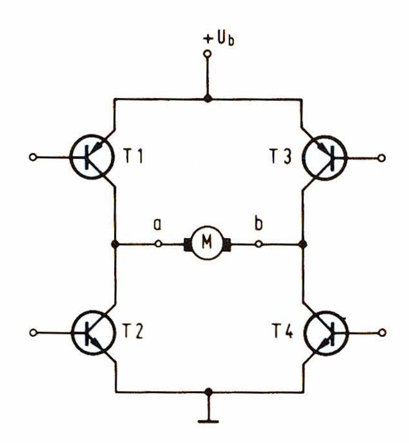
Die Dauer der Differenzimpulse kann zwischen 0 und 0,5 ms liegen, während die Zyklusdauer ja 20 ms beträgt. Damit sind

die Impulse zu kurz, um mit ihnen den Motor direkt ansteuern zu können. Sie werden daher noch in *Impulsdehnern* verlängert. Je nach Länge der Differenzimpulse wird ein Kondensator mehr oder weniger entladen. Während der Impulspausen lädt er sich mit einer wesentlich größeren Zeitkonstante wieder auf (*Abb. 48*). Die Spannung am Kondensator wird durch einen Komparator ausgewertet. Ist sie größer als die Bezugsspannung U_{ref}, so geht sein Ausgang auf L-Potential; er geht auf H, wenn sie kleiner ist. Die Länge der gedehnten Impulse bleibt dabei proportional zur Länge der Differenzimpulse. Mit den gedehnten Impulsen kann nun der Motor über Schaltverstärker angesteuert werden. Die Fahrgeschwindigkeit ist umso höher, je größer das Impuls-Pause-Verhältnis ist.

4.5 Motoransteuerung

Wie beschrieben, laufen die Motoren mit gepulstem Strom. Der Impulsbetrieb wirkt sich günstig auf das Fahrverhalten der Lokomotiven aus, besonders im unteren Geschwindigkeitsbereich. Das Drehmoment eines Motors ist proportional zu dem durch ihn fließenden Strom. Wird dieser durch Erhöhen der Fahrspannung langsam von null an gesteigert, so wird die Lok zunächst noch stehenbleiben, dann aber mit einer beträchtlichen Anfangsgeschwindigkeit davonfahren. Das liegt daran, daß das Drehmoment zunächst nicht ausreicht, alle Haftreibungswiderstände zu überwinden. Kommt die Lok dagegen erst einmal ins Rollen, so sinken die Widerstände zunächst (Rollreibung), und die Lok beschleunigt stark. Im Impulsbetrieb wird der Anker während der Impulsdauer vom vollen Strom durchflossen. Die damit verbundenen hohen Drehmomente stoßen den Anker schrittweise weiter, so daß auch bei kleinen Impulslängen die Reibungswiderstände überwunden werden können. Das Ergebnis ist eine fein dosierbare Geschwindigkeitsregelung. Ein kleiner Nachteil ist allerdings anzumerken: Bei kleinen Geschwindigkeiten gibt ein so betriebener Motor schnarrende Geräusche von sich. Das paßt zwar sehr gut zu Diesel-, aber sicher nicht zu Dampflokomotiven.

Abb. 49 Brückenschaltung zur Drehrichtungsumsteuerung von Gleichstrommotoren



Gleichstrommotoren

Die in den Lokomotiven der meisten Hersteller verwendeten Gleichstrommotoren sind zur Felderzeugung mit Permanentmagneten ausgerüstet. Um die Drehrichtung der Motoren zu ändern, muß die Polarität der angelegten Spannung umgekehrt werden. Das geschieht in einer Brückenschaltung (*Abb. 49*). Öffnen die Transistoren T1 und T4, so wird die Klemme a an $+U_b$ und die Klemme b an Masse gelegt. Öffnen T2 und T3, so liegt b an $+U_b$ und a an Masse.

Wechselstrommotoren

Die Lokomotiven der Firma *Märklin* sind mit Wechselstrommotoren ausgerüstet. Man könnte sie auch als Allstrommotoren bezeichnen, da sie genauso gut mit Gleichstrom betrieben werden können. Im Gegensatz zu den Gleichstrommotoren mit permanenten Feldmagneten, besitzen sie aber eine Feldspule, die mit der Ankerwicklung in Reihe liegt. Der Drehsinn der Motoren mit Feldspule ist vom Vorzeichen der angelegten Spannung unabhängig, da sich auch das Magnetfeld umkehrt, wenn der Strom durch den Anker seine Richtung ändert. Das Drehmoment wird also nicht umgekehrt. Das macht sie für Wechselstrom geeignet, läßt aber für Drehrichtungsänderungen besondere

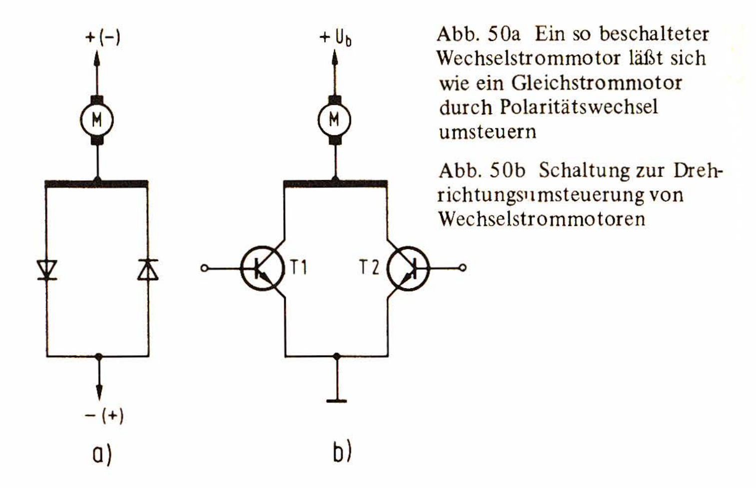


Abb. 50a Ein so beschalteter Wechselstrommotor läßt sich wie ein Gleichstrommotor durch Polaritätswechsel umsteuern

Abb. 50b Schaltung zur Drehrichtungsumsteuerung von Wechselstrommotoren

Maßnahmen erforderlich werden. Man muß die Stromrichtung in der Feldspule allein oder im Läufer allein umkehren. *Märklin*-Motoren haben zu diesem Zweck zwei Feldwicklungen mit entgegengesetztem Wicklungssinn. Ein in die Loks eingebautes Stromstoßrelais schaltet je nach gewünschter Fahrtrichtung die eine oder die andere Wicklung in den Strompfad.

Bei Gleichstrombetrieb kann man das Relais entbehren, wenn man zwei Dioden gemäß *Abb. 50a* an die Feldwicklungen schaltet. Je nach Polarität der Fahrspannung, leiten die Dioden den Strom durch die linke oder die rechte Feldwicklung. Ein so beschalteter Motor verhält sich wie ein Gleichstrommotor. Das Umpolen der Fahrspannung erfordert wieder eine Brückenschaltung.

Es geht aber auch einfacher. In *Abb. 50b* übernehmen zwei Schalttransistoren die Rolle der Relaiskontakte. Je nach gewünschter Drehrichtung muß T1 oder T2 geöffnet werden. Baut man einen Empfänger speziell für Wechselstrommotoren, so ist natürlich diese Variante wegen ihres kleineren Bauelementebedarfs vorzuziehen.

Die praktisch ausgeführten Schaltverstärker werden noch mit einer Verriegelungsschaltung versehen. Sie verhindert, daß der Motor durch Fehlimpulse umgepolt werden kann. Kurzzeitige Störungen im Signalfluß, meist durch Kontaktunterbrechungen zwischen Rädern und Schienen hervorgerufen, wirken sich dadurch nicht weiter auf die Fahrt der Lok aus.

4.6 Moderne Impulsteile

Die Firma *Signetics* stellt unter der Bezeichnung NE 5044 einen integrierten Schaltkreis her, mit dem der gesamte Impulsteil eines Senders mit nur wenigen zusätzlichen Bauelementen erstellt werden kann (*Abb. 51*). Leider ist dieser IC bei Erscheinen des Buches noch nicht überall erhältlich. Wer den NE 5044 jedoch auftreiben kann, sollte ihn natürlich verwenden. Aber auch mit Standardbauelementen ist eine erhebliche Vereinfachung der Schaltung möglich. Das zeigen die in neueren Funkfernsteueranlagen eingesetzten Impulsteile. Diesen Anlagen

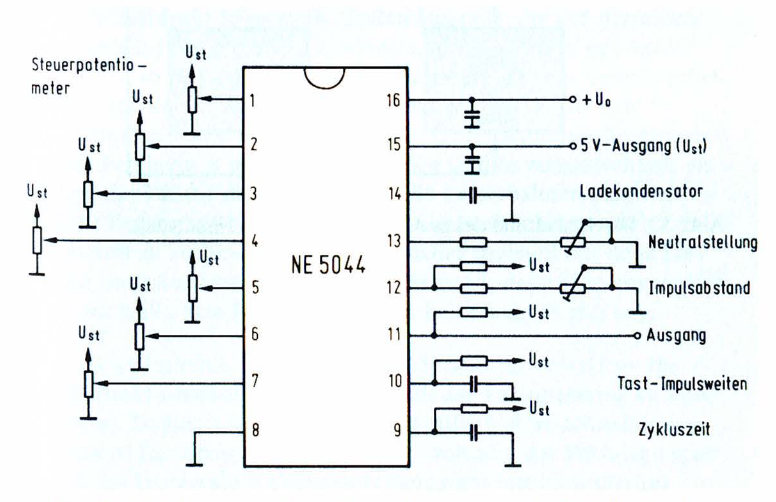


Abb. 51 Schaltung eines Impulsteils mit dem integrierten Schaltkreis NE 5044

liegt folgende Idee zugrunde: Anstatt für jeden Kanal einen eigenen Zeitgeber einzusetzen, nimmt man nur noch eine einzige Kippstufe, bei der die zeitbestimmenden Steuerpotentiometer der Reihe nach angeschaltet werden. Die Ausgangsimpulse werden auf einen Zähler gegeben, der über einen Multiplexer jeweils das nächste Steuerpotentiometer anwählt (*Abb. 52*). Die praktisch ausgeführte, im folgenden Kapitel beschriebene Anlage arbeitet nach diesem Prinzip.

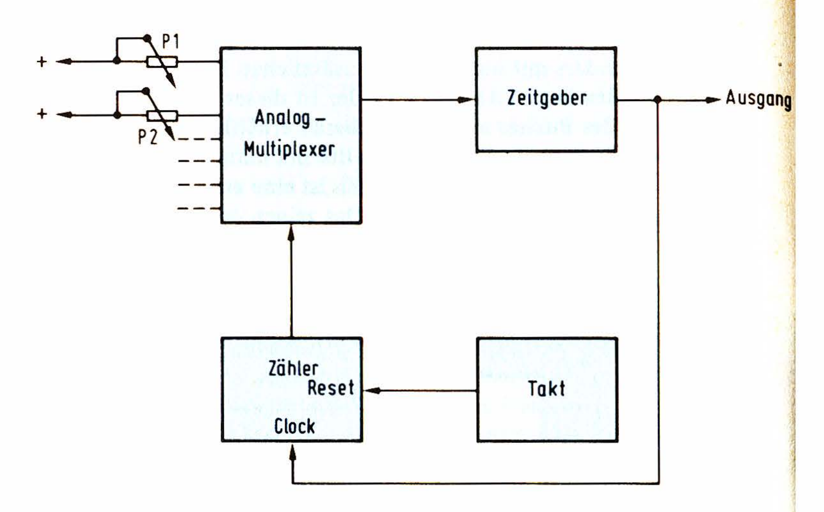


Abb. 52 Blockschaltbild des praktisch ausgeführten Impulsteils

5 Bauanleitung für den PPM-Sender

Nachdem das Prinzip der PPM–Mehrzugsteuerung erläutert worden ist, wollen wir nun an die praktische Ausführung des Senders gehen. Er besteht aus zwei Baugruppen, dem Fahrspannungsgerät und dem Impulsteil.

Beide Schaltungen lassen sich am einfachsten mit Hilfe von *Veroboard*-Leiterplatten aufbauen. Diese Platten sind im Rastermaß vorgebohrt. Auf der Rückseite sind Leiterbahnen angeordnet, mit denen die Bauelemente in Längsrichtung elektrisch verbunden werden können. Querverbindungen werden mit Schaltdraht hergestellt. Sollen Bauteile, die auf derselben Leiterbahn eingelötet sind, voneinander elektrisch getrennt werden, so ist die Bahn mit Hilfe eines Bohrers zu unterbrechen. Die Lage der Bauteile und der Drahtbrücken ist aus den Zeichnungen und Fotos ersichtlich. Leiterbahnunterbrechungen sind durch ein x gekennzeichnet. Sie sind so eingezeichnet, als wäre die Platine durchsichtig. Da die Leiterbahnen ziemlich dicht liegen, besteht die Gefahr, sie unbeabsichtigt durch Lötbrücken zu verbinden. Man sollte daher sparsam mit dem Lötzinn umgehen und jeden fertigen Baustein daraufhin überprüfen, ob auch alle Streifen zwischen den Leiterbahnen frei sind.

Es ist sinnvoll, Teilbereiche der Schaltung, soweit sie für sich funktionsfähig sind, gleich nach der Fertigstellung zu überprüfen. Dadurch läßt sich ein eventueller Fehler schneller einkreisen. Zur Spannungsversorgung während der Prüfung eignet sich am besten ein stabilisiertes Netzgerät mit einstellbarer Strombegrenzung. Es schützt die Bauteile vor der Zerstörung, wenn einmal ein Fehler unterlaufen ist.

Die in den Stücklisten aufgeführten Widerstände sind, wenn nichts anderes vermerkt ist, Kohleschichtwiderstände mit einer Mindestbelastbarkeit von 1/8 Watt. Bei den Elektrolyt- und Tantalkondensatoren ist auf richtige Polung zu achten. Außerdem muß die Spannungsfestigkeit mindestens gleich der Betriebsspannung sein. Transistoren und Dioden sind Standardtypen und können durch Ausführungen mit ähnlichen Daten ersetzt werden. Man findet sie in den üblichen Austauschtabellen, z.B.: Si-Diode BA127: BA217, BA317, BAY61, 1N914, 1N4148,
NPN BC547: BC107, BC147, BC207, BC237, BC317, BC347,
PNP BC557: BC157, BC177, BC251, BC261, BC307, BC350.
Die integrierten Schaltkreise der CMOS-Reihe 4000 werden von den diversen Herstellern mit unterschiedlichen Kennbuchstaben versehen, z.B. CD 4022 oder SCL 4022. Die entsprechenden Typen haben aber die gleiche Anschlußbelegung und sind damit austauschbar.

5.1 Fahrspannungsgerät

Das Fahrspannungsgerät gibt eine stabilisierte Gleichspannung mit überlagerten Steuerimpulsen ab und ist mit einer Überstromsicherung versehen. *Abb. 53* zeigt den Schaltplan, *Tabelle 2* führt alle benötigten Bauteile auf. Der maximale Strombedarf handelsüblicher Lokomotiven beträgt etwa 0,5 A. Für den gleichzeitigen Einsatz von sechs Loks wählen wir also einen Transformator, der 3 A bei der für die Steuerelektronik erforderlichen Spannung von 22 V abgeben kann. Das entspricht einer Leistung von 66 W. Sollen die Züge mit einer Beleuchtung ausgerüstet werden (siehe Kapitel 7.4), so ist ein Transformator mit einer entsprechend höheren Leistung zu wählen. Auf der Primärseite wird ein Netzschalter, eine Schmelzsicherung und eine Glimmlampe samt Vorwiderstand benötigt. Die Schmelzsicherung schützt den Trafo vor Überlastung im Falle eines Kurzschlusses in der Steuerelektronik. Die Sekundärspannung wird mit Hilfe einer Brückenschaltung Br gleichgerichtet und durch den Ladekondensator C1 geglättet.

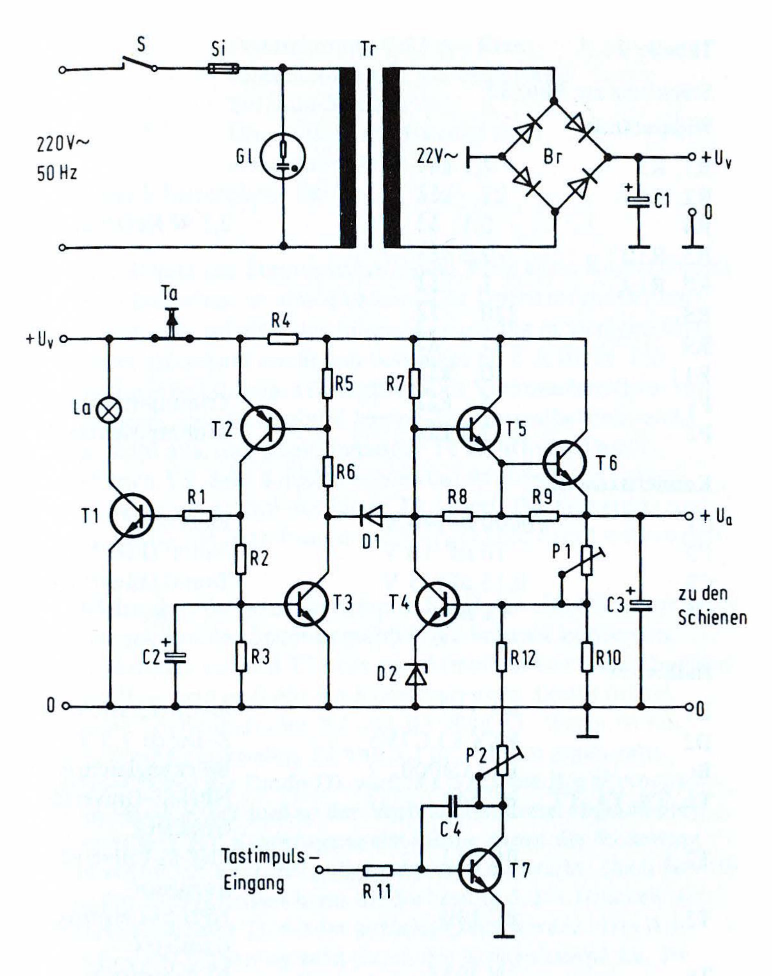


Abb. 53 Schaltplan des Fahrspannungsgeräts

Tabelle 2

Stückliste zu Abb. 53

Widerstände

R1, R3	4,7 kΩ	
R2, R6	22 kΩ	
R4	0,1 Ω	2,5 W Keramik
R5, R10	2,2 kΩ	
R7, R12	1 kΩ	
R8	220 Ω	
R9	47 Ω	
R11	10 kΩ	
P1	5 kΩ	Trimmpotentiometer
P2	2,2 kΩ	Trimmpotentiometer

Kondensatoren

C1	10000 μF/40 V	Elektrolyt
C2	10 μF/10 V	Tantal (Elektrolyt)
C3	0,15 μF/25 V	Tantal (Elektrolyt)
C4	1 nF	

Halbleiter

D1	BA 127	Si-Universaldiode
D2	BZX 83 C7V5	Z-Diode 7,5 V
Br	B40 C3000	Brückengleichrichter
T1, T3, T4, T7	BC 547	NPN-Si-Universal-transistor
T2	BC 557	PNP-Si-Universal-transistor
T5	BC 140	NPN-Si-Leistungs-transistor
T6	2N 3055	NPN-Si-Hoch-leistungstransistor

Sonstiges

Tr	Netztransformator, primär 220 V, sekundär 22 V / 3 A

Si	Feinsicherung 0,63 A / flink
Gl	Glimmlampe mit Vorwiderstand
S	Ein/Aus-Schalter
Ta	Drucktaster mit Ruhekontakt
La	Anzeigelampe 24 V

Veroboard-Leiterplatte M6

Zum Schutz der Steuerelektronik im Falle eines Kurzschlusses auf der Gleisanlage ist eine elektronische Überstromsicherung vorgesehen. Sie schaltet die Ausgangsspannung in wenigen Millisekunden ab, sobald ein Strom von mehr als 5 A fließt. Die Sicherung arbeitet folgendermaßen: Der Verbraucherstrom ruft an R4 einen Spannungsabfall hervor. Im Normalbetrieb reicht dieser nicht aus, den pnp-Transistor T2 zu öffnen. Damit sperrt auch T3. Sein Kollektorpotential ist gleich der Versorgungsspannung, so daß die Diode D1 sperrt. Die Sicherung und die nachfolgende Stabilisierungsschaltung sind damit entkoppelt.

Wächst der Verbraucherstrom, z.B. infolge eines Kurzschlusses, so weit an, daß der Spannungsabfall die Schaltschwelle von 0,5 V erreicht, so wird T2 über den Strombegrenzungswiderstand R5 geöffnet und es fließt ein Kollektorstrom. Dieser öffnet über den Spannungsteiler R2 und R3 auch T3. Damit ist ein Kippvorgang eingeleitet, T2 und T3 halten sich gegenseitig geöffnet. Über die Diode D1 wird die Basis des Regeltransistors T5 an Masse gelegt und so der Verbraucherstrom abgeschaltet. C2 verzögert den Kippvorgang ein wenig, damit die Sicherung nicht schon auf kurzzeitige Schaltspitzen anspricht. Nach Beseitigung des Kurzschlusses kann die Sicherung durch Drücken der Unterbrechertaste Ta wieder zurückgestellt werden. Das Ansprechen der Sicherung wird durch die Kontrollampe La, die von T1 angesteuert wird, signalisiert.

Der Wert des Widerstandes R4 errechnet sich nach der Formel:

$$R4 = \frac{0{,}5\ V}{I_{max}}$$

Bei einem Abschaltstrom I_{max} = 5 A ergibt sich also R4 = 0,1 Ω. Er muß mit $P = I^2 \cdot R$ = 2,5 W belastbar sein.

Um die Schaltung zu überprüfen, kann man zunächst für R4 einen Wert von 1 Ω einsetzen. Dann muß die Sicherung schon bei 0,5 A Belastung ansprechen. Diesen Strom können auch kleinere Labornetzgeräte aufbringen. Als Lastwiderstand verwendet man ein Drahtpotentiometer von 50 Ω und 7,5 W. Bei Kurzzeitbetrieb kann die Belastbarkeit auch wesentlich geringer sein. Bei 50 Ω beginnend, verkleinert man den Lastwiderstand und mißt den zugehörigen Ausgangsstrom. Überschreitet dieser den Wert von 0,5 A, so muß die Sicherung abschalten. Ist alles in Ordnung, lötet man für R4 wieder den 0,1-Ω-Widerstand ein.

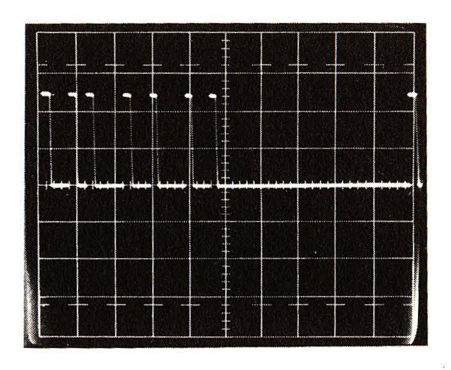
Die Fahrspannung wird mit Hilfe eines Regelverstärkers stabilisiert. Dazu wird die Ausgangsspannung U_a über den Spannungsteiler P1, R10 mit der Referenzspannung U_z der Zenerdiode D2 verglichen. Die Differenz der beiden Spannungen wird mit T4 verstärkt und der Basis von T5 zugeführt. Die Darlingtonanordnung aus T5 und T6 bildet das Regelglied. Sinkt die Ausgangsspannung z.B. durch Belastung ab, so vermindert sich der Kollektorstrom von T4 und verschiebt das Basispotential von T5 zu positiveren Werten. Das wirkt über den Emitterfolger T6 der Ausgangsspannungsänderung entgegen. Die Widerstände R8 und R9 leiten die in der Basis der Ausgangstransistoren gespeicherte Ladung ab. Sie lassen sich dadurch schneller sperren. C3 hält sprunghafte Laständerungen vom Regelkreis fern.
Die Ausgangsspannung hängt vom Wert der Zenerdiode und dem Verhältnis der Widerstände P1 und R10 ab:

$$U_a = \left(1 + \frac{P1}{R10}\right) \cdot (U_z + U_{BE}) \qquad (1)$$

Sie wird mit P1 auf 15 V eingestellt. U_{BE} ist die Basis-Emitter-Spannung von T4 ($\approx$ 0,5 V).

Der festen Fahrspannung müssen nun noch die Steuerimpulse überlagert werden. Diese Aufgabe übernimmt T7. Die von der Steuerplatine kommenden Tastimpulse öffnen T7. Dadurch werden die Widerstände R12 und P2 für die Dauer der Impulse

Abb. 54 Ausgangssignal des Fahrspannungsgeräts. x-Achse: 2 ms/Skt.; y-Achse: 2 V/Skt., Nullpunkt unterdrückt



dem Widerstand R10 parallel geschaltet. Das hat aber gemäß Formel 1 einen Spannungsanstieg zur Folge. Mit P2 lassen sich die Steuerimpulse auf insgesamt 20 V Impulshöhe einstellen (*Abb. 54*). C4 schrägt die Impulsflanken ein wenig ab.

Die Transistoren T5 und T6 müssen gekühlt werden. Für T5 ist ein aufsteckbarer Kühlstern vorgesehen. T6 wird getrennt von der Platine auf einen Kühlkörper geschraubt, der wiederum am Gehäuse befestigt wird. Somit wird die Wärme auch über das Gehäuse abgeleitet. Wird T6 frei aufgestellt, so muß der Kühlkörper eine Fläche von mindestens 200 cm^2 haben. Da der Körper von T6 Kollektorpotential führt, muß er unbedingt isoliert vom geerdeten Gehäuse angebracht werden. Dafür sind Glimmerscheiben und Plastikschrauben im Handel.

Abb. 55a zeigt den Platinenentwurf, *Abb. 55b* den fertigen Baustein.

5.2 Impulsteil

Beim Entwurf des Impulsteiles können wir auf eine bewährte, schon mehrfach veröffentlichte Schaltung zurückgreifen [14, 15]. Sie ist in leicht abgeänderter Form im Funkfernsteuersender MP 6 der Firma *Brand* zu finden und fällt durch ihren hohen

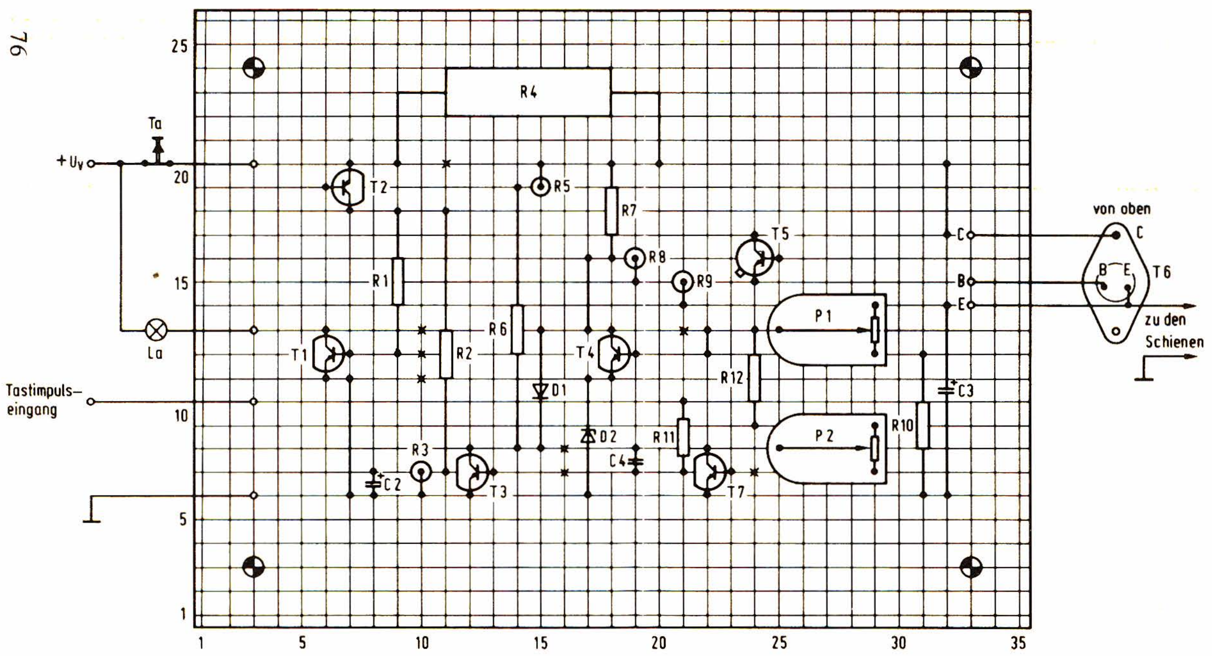


Abb. 55a Platinenentwurf für das Fahrspannungsgerät

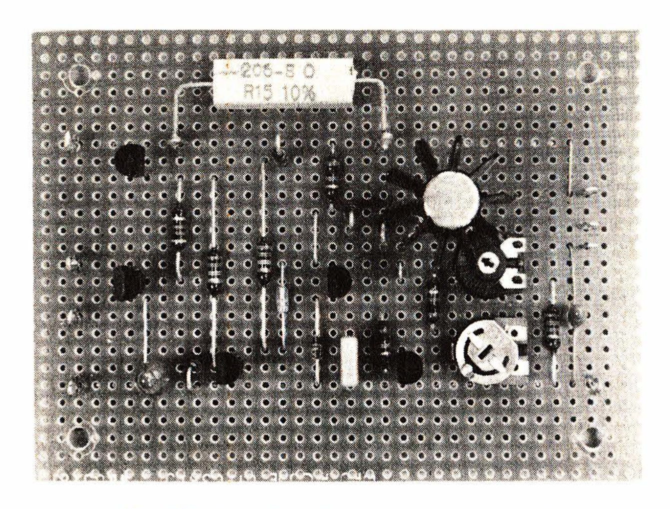


Abb. 55b Bestückte Platine Fahrspannungsgerät

Integrationsgrad auf. Den Schaltplan zeigt *Abb. 56,* die benötigten Bauteile sind in der Stückliste *Tabelle 3* zusammengefaßt.

Die Schaltung erhält eine eigene Spannungsstabilisierung mit dem integrierten Regler µA 7808. Weiter werden ein Zweifach-Zeitgeber NE 556, ein Zähler CD 4022 und zwei Vierfach-Analogschalter CD 4066 eingesetzt. Zur besseren Übersicht sind die acht Analogschalter und die zwei Zeitgeber („Timer") jeweils einzeln herausgezeichnet.

Gehen wir zunächst auf die Timer näher ein. *Abb. 57a* und *b* geben das Blockschaltbild und die Anschlußbelegung wieder. Ein Timer enthält zwei Komparatoren, ein Flip-Flop, einen Entladetransistor, einen Spannungsteiler und einen Ausgangsverstärker. Als zeitbestimmendes Element ist ein RC-Glied extern anzuschließen. Der Spannungsteiler legt die Ansprechpegel der beiden Komparatoren auf 2/3 U_B bzw. 1/3 U_B fest. Sinkt die Triggerspannung unter 1/3 der Versorgungsspannung, so setzt der Komparator B das Flip-Flop, und $\overline{Q}$ geht auf L. Der Entladetransistor sperrt, und der invertierende Ausgangsverstärker geht auf H.

Abb. 56 Schaltplan des Impulsteils

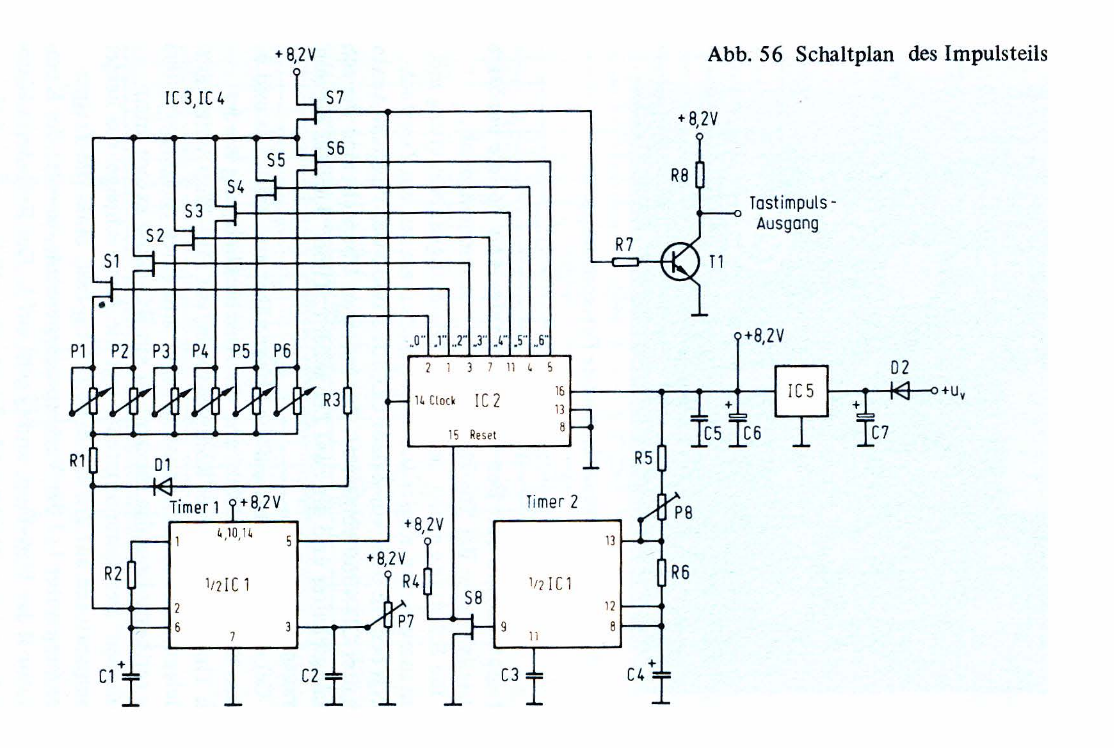


Tabelle 3

Stückliste zu Abb. 56

Widerstände

R1	4,7 kΩ	
R2	1,8 kΩ	
R3	47 kΩ	
R4, R7	10 kΩ	
R5	68 kΩ	
R6	1,5 kΩ	
R8	1 kΩ	
P1, . . . , P6	10 kΩ	Schiebepotentiometer
P7	10 kΩ	Trimmpotentiometer
P8	50 kΩ	Trimmpotentiometer

Kondensatoren

C1, C4	0,33 µF/10 V	Tantal
C2, C3	10 nF	
C5	47 nF	
C6	47 µF/10 V	Elektrolyt
C7	470 µF/40 V	Elektrolyt

Halbleiter

D1	BA 127	Si-Universaldiode
D2	1N 4001	Si-Leistungsdiode
T1	BC 547	NPN-Si-Universal-transistor
IC1	NE 556	Timer
IC2	CD 4022	Oktalzähler
IC3, IC4	CD 4066	Analogschalter
IC5	µA 7808	Spannungsregler

Sonstiges

3 IC–Fassungen 14-polig
1 IC–Fassung 16-polig
1 Veroboard-Leiterplatte M7

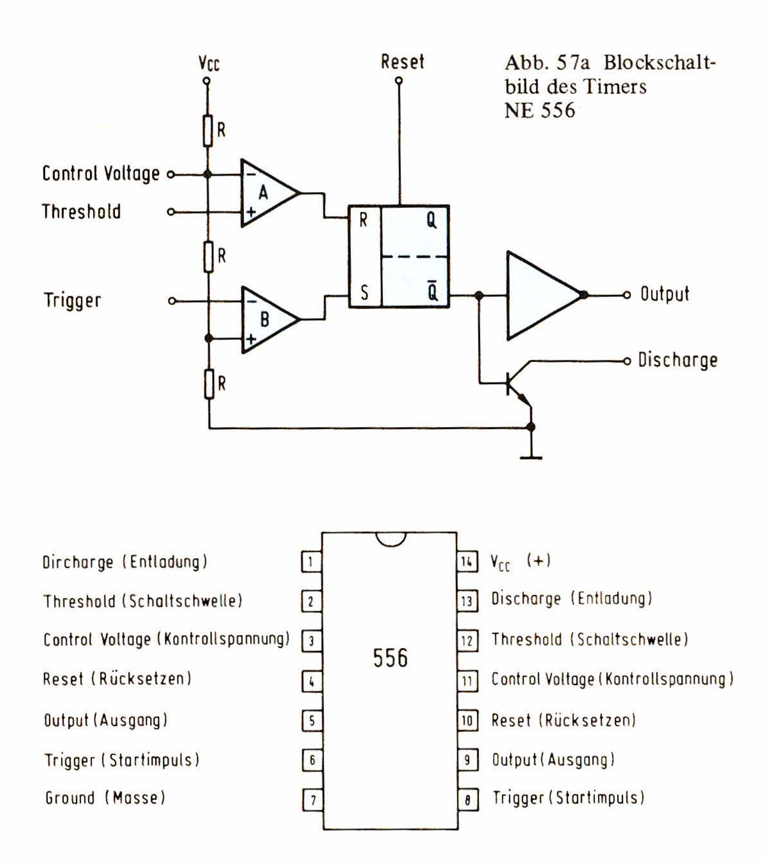


Abb. 57a Blockschaltbild des Timers NE 556

Abb. 57b Anschlußbelegung des Timers NE 556

Der Threshold-Anschluß mißt in der Regel die Kondensatorspannung des Zeitgliedes. Übersteigt diese 2/3 der Versorgungsspannung, so wird das Flip-Flop vom Komparator A zurückgesetzt, der Ausgang nimmt L-Potential an, und der Entladetransistor wird durchgeschaltet.

Der IC kann äußerst vielseitig eingesetzt werden, *Abb. 58* zeigt ihn als astabilen Multivibrator beschaltet. Trigger und

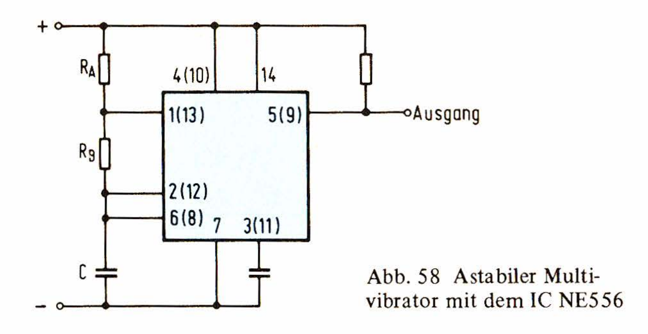


Abb. 58 Astabiler Multivibrator mit dem IC NE556

Threshold sind zusammengeführt. Nach Einschalten der Versorgungsspannung lädt sich der Kondensator C über die Widerstände R_A und R_B auf. Wenn die Spannung am Kondensator 2/3 U_B erreicht hat, geht der Ausgang des Timers auf L, gleichzeitig öffnet der Entladetransistor. Der Kondensator entlädt sich nun über R_B. Sinkt die Spannung unter 1/3 U_B, so geht der Ausgang wieder auf H, und der Entladetransistor sperrt, so daß eine erneute Aufladung des Kondensators beginnt. Dieser Vorgang wiederholt sich fortwährend. Der Ausgang ist für die Zeit $t_1 = 0{,}7\,(R_A + R_B)\,C$ auf H-Potential und für die Zeit $t_2 = 0{,}7\,R_B\,C$ auf L-Potential. Das ergibt eine Frequenz von

$$f = \frac{1}{0{,}7\,(R_A + 2\,R_B)\,C}$$

Timer 2 in Abb. 56 ist wie oben beschrieben als astabiler Multivibrator beschaltet und bestimmt die Zykluszeit. Die Aufladung von C4 erfolgt über R5, P8 und R6. Mit dem Potentiometer P8 läßt sich die Zykluszeit auf 20 ms einstellen. Die Entladung von C4 erfolgt über R6. Sie dauert etwa 0,4 ms. Während dieser Zeit ist der Ausgang des Timers (Anschluß 9) auf L-Potential. Der Analogschalter S8 ist als Inverter geschaltet. An seinem Arbeitswiderstand R4 tritt also ein positiver Impuls von 0,4 ms auf. Dieser Impuls ist das Rückstellsignal (Reset) für den Zähler CD 4022. Es handelt sich dabei

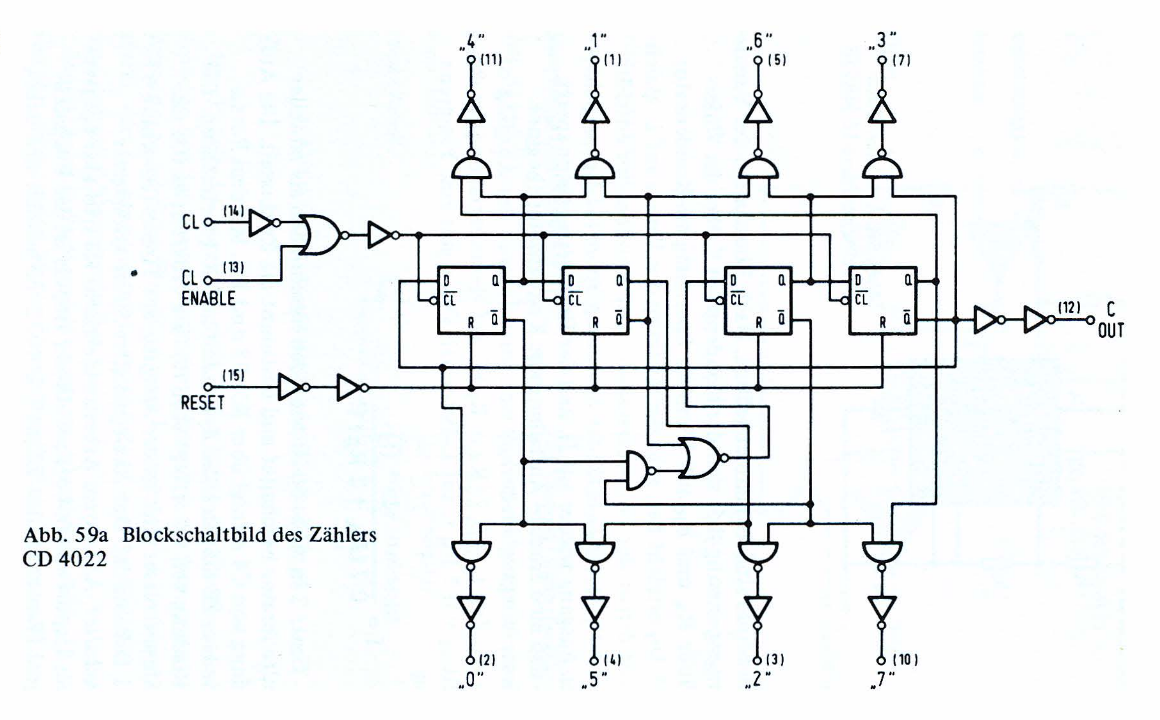


Abb. 59a Blockschaltbild des Zählers CD 4022

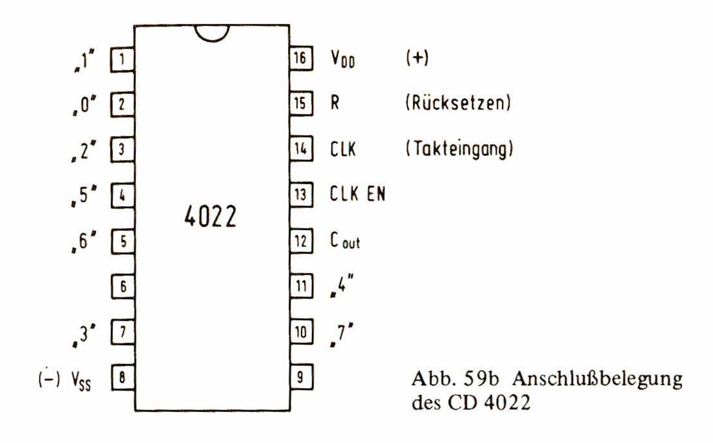


Abb. 59b Anschlußbelegung des CD 4022

um einen Oktalzähler mit acht dekodierten Ausgängen. Blockschaltbild und Anschlußbelegung sind in *Abb. 59a* und *b* wiedergegeben. Die Analogschalter S1 . . . S8 sind in zwei CD 4066 enthalten, deren Blockschaltbild und Anschlußbelegung in *Abb. 60a* und *b* gezeigt wird.

Beim Eintreffen der Vorderflanke des Reset-Impulses (Übergang L/H), wird der Zähler auf „0" gesetzt. Zählerstand „0" bedeutet, daß der Anschluß 2 des Bausteins auf H-Potential liegt, während sich alle anderen Zählausgänge auf L-Potential befinden (1-aus-8-Code). Damit wird aber der Timer 1 gestartet, indem sich der Kondensator C1 über R3 und D1 auflädt. Ist die obere Schwelle erreicht, so kippt der Timer 1, und C1 entlädt sich über R2. Während der Entladezeit, die mit 0,4 ms bemessen ist, ist der Ausgang (Anschluß 5) auf L-Potential. Dieser negative (!) Impuls ist der erste Tastimpuls. Das L-Potential des Ausgangs sperrt den Analogschalter S7, so daß während dieser Zeit keine unerwünschte Aufladung über P1 . . . P6 erfolgen kann.

Ist die Entladung beendet, so kippt der Timer wieder zurück, d.h. Anschluß 5 geht auf H. Die L/H-Flanke setzt den Zähler über den Zähleingang (Clock) auf „1", gleichzeitig öffnet S7.

Da nun der Anschluß 1 auf H-Potential liegt, öffnet auch S1, und C1 kann sich über P1 und R1 aufladen. Die Ladezeit läßt sich mit dem Steuerpotentiometer P1 zwischen 0,6 und 1,6 ms variieren. Danach kippt der Timer und C1 entlädt sich erneut. Der Ausgang geht wieder auf L-Potential und man erhält den zweiten (negativen) Tastimpuls. Der zeitliche Abstand zwischen der Rückflanke (L/H-Übergang) des ersten und der Rückflanke

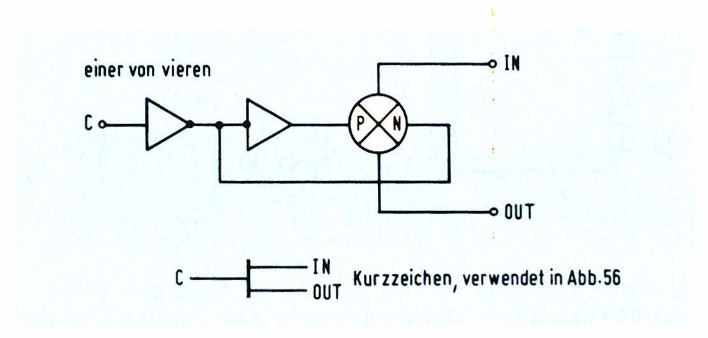


Abb. 60a Blockschaltbild des Analogschalters CD 4066

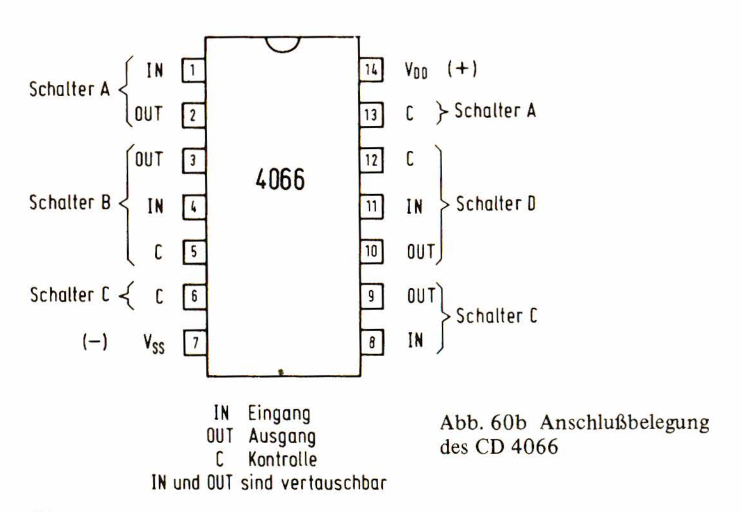


Abb. 60b Anschlußbelegung des CD 4066

des zweiten Tastimpulses ist die Steuerinformation des ersten Kanals und beträgt 1 . . . 2 ms. Nach Beendigung der Entladung springt der Ausgang wieder auf H. Dadurch wird der Zähler auf „2“ gesetzt und Schalter S2 geöffnet. Der Kondensator C1 kann sich über P2 aufladen. Danach folgt der dritte Tastimpuls usw.

Man erkennt nun das Arbeitsprinzip: Auch Timer 1 arbeitet als astabiler Multivibrator. Die Impulspausen (Tastimpulse) haben jeweils feste Dauer. Die Zeit zwischen den Impulspausen ist variabel und hängt von der Stellung eines Potentiometers ab. Entsprechend den sechs Steuerkanälen werden nacheinander sechs Potentiometer angekoppelt. Das Weiterschalten auf das nächste Poti übernimmt der Zähler. Die Abstände zwischen den Impulspausen sind die Informationen der einzelnen Kanäle.

Der siebte Tastimpuls setzt den Zähler auf „7“. Der zugehörige Anschluß 10 führt dann H-Potential. Da dieser Anschluß aber nicht beschaltet ist, kann sich C1 auch nicht aufladen, der Timer ist gestoppt. Sein Ausgang bleibt auf H-Potential, bis der Timer 2 das Rücksetzsignal für den Zähler liefert. Dann erfolgt eine erneute Aufladung von C1 über R3 und D1 und der nächste Zyklus beginnt.

Abb. 61 zeigt den oszillografierten Spannungsverlauf am Ausgang des Timers 1. Man erkennt die negativen Tastimpulse (unten). Die sägezahnförmige Kurve darüber gibt den Lade- und Entladevorgang des Kondensators C1 wieder.

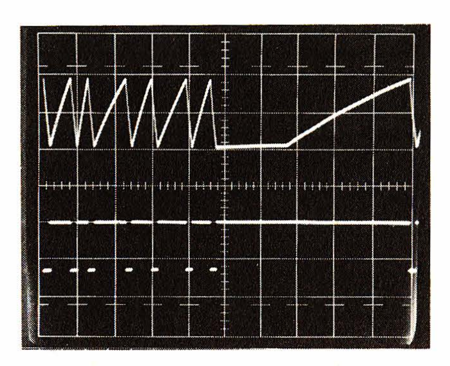
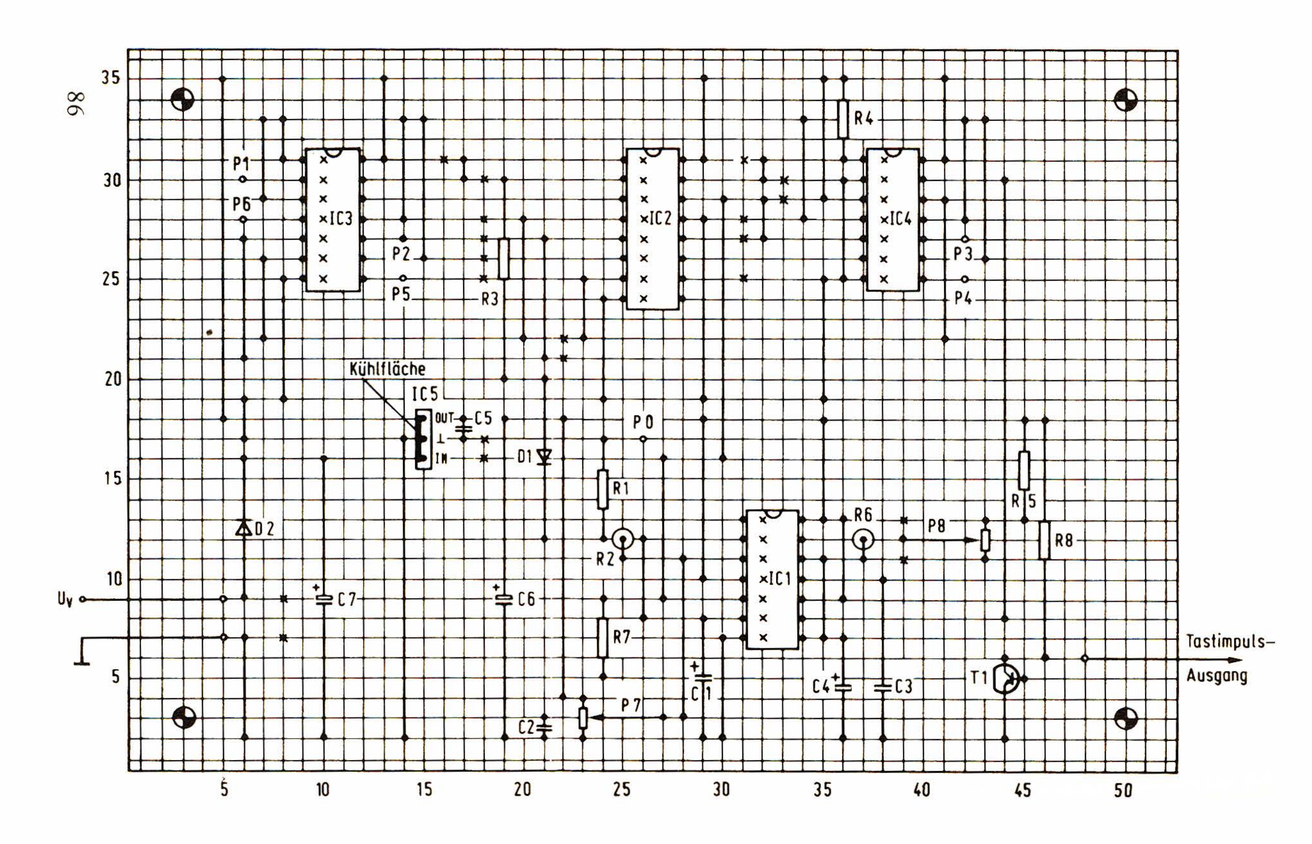


Abb. 61 Erzeugung der Tastimpulse.
Oben: Signalverlauf am Kondensator C1 (Abb.56); x-Achse: 2 ms/Skt., y-Achse: 1 V/Skt.
Unten: Ausgangssignal des Timers 1 (Abb.56); x-Achse: 2 ms/Skt., y-Achse: 5 V/Skt.



Kühlfläche
IC5
OUT
IN
IC1
IC2
IC3
IC4
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
D1
D2
T1
P0
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
Uv
Tastimpuls-
Ausgang

Links: Abb. 62a Platinenentwurf für den Impulsteil

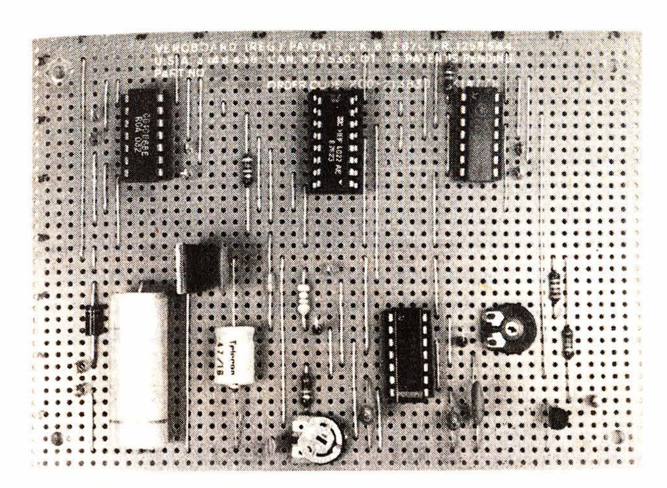


Abb. 62b Bestückte Platine Impulsteil

Der Transistor T1 arbeitet als Inverter, formt die negativen Impulse also in positive um. Diese Impulse modulieren die Fahrspannung.

Mit dem Potentiometer P7 kann die obere Schaltschwelle des Timers variiert werden. Damit können die Ladezeiten, für alle Kanäle gleichzeitig, verkürzt oder verlängert werden. Man stellt P7 so ein, daß die Abstände zwischen den Vorderflanken der Tastimpulse maximal 2 ms betragen. Alle Einstellarbeiten werden mit Hilfe des Oszillografen vorgenommen.

Abb. 62a zeigt den Platinenentwurf für den Impulsteil, *Abb. 62b* den fertigen Baustein. Die Steuerpotentiometer sind nicht eingezeichnet. Die Anschlußpunkte sind mit P1 . . . P6 bezeichnet, der gemeinsame Anschluß ist PO.

5.3 Mechanischer Aufbau des Senders

Für die Funktionssicherheit der Schaltung ist ein solider mechanischer Aufbau unerläßlich. Er muß außerdem den Gefahren Rechnung tragen, die das Arbeiten mit Netzspannung mit sich bringt. Bei der Musteranlage wurde ein Fertiggehäuse aus Aluminium verwendet (*Abb. 63*). Die Maße betragen 30 cm x 20 cm x 10 cm (L x B x H). Auf der Grundplatte sind der Transformator, der Gleichrichter Br und der Ladekondensator C1 unmittelbar angeschraubt. Für die Befestigung der Platine werden Distanzhülsen benötigt. Der Leistungstransistor T6 wird mit dem Kühlkörper an die Gehäuserückwand geschraubt. Sollte sich T6 bei Dauerbetrieb zu stark erwärmen, so ist der Kühlkörper entgegen der Abbildung außen anzubringen. Die Vorderwand nimmt eine Gerätesteckdose, einen Sicherungshalter

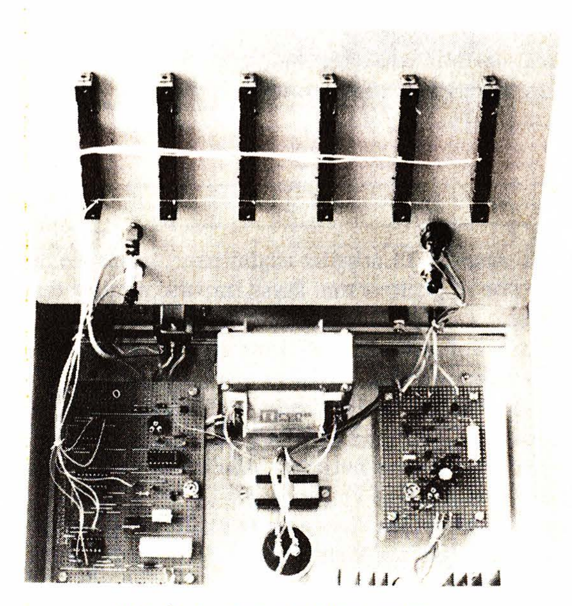


Abb. 63 Innenansicht des Senders

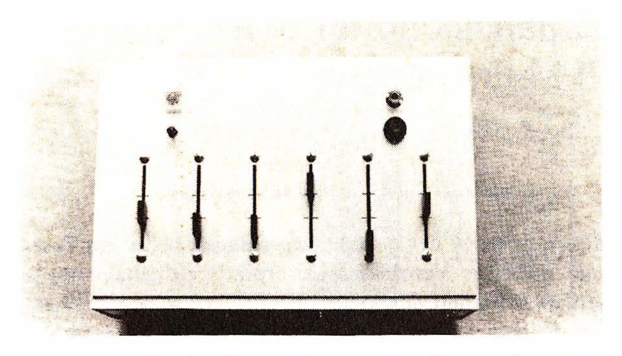


Abb. 64 Beispiel für die Anordnung der Bedienungselemente

und die Ausgangsbuchsen auf. Sämtliche Bedienungselemente sind auf der Deckplatte angeordnet (*Abb. 64*). Links oben erkennt man den Ein/Aus-Schalter mit Anzeigelampe, rechts oben die Sicherungskontrollampe und den Austaster. Als Steuerpotentiometer wurden Schieberegler vorgesehen.

Es wird zunächst die Netzspannungsverdrahtung ausgeführt. Dabei ist besonders auf eine gute elektrische Verbindung zwischen Schutzleiteranschluß und Gehäuse zu achten. Bei allen Funktionsüberprüfungen muß man äußerst vorsichtig zu Werke gehen, damit man nicht aus Versehen netzspannungsführende Leitungen berührt.

Anschließend werden die vorgeprüften Platinen und restlichen Bedienungselemente verdrahtet. Das Gerät kann nun verschlossen und abschließend getestet werden. Dazu wird der Signalverlauf an den Ausgangsbuchsen oszillografiert und das korrekte Ansprechen der Sicherung überprüft.

Die Steuerpotentiometer können natürlich auch als Handregler ausgeführt werden, die über zweiadrige Leitungen und Steckkontakte einzeln an das Fahrpult angeschlossen werden. Dadurch wird es möglich, die zu steuernde Lok neben der Anlage zu begleiten („walk-around-control“).

6 Bauanleitung für den PPM-Empfänger

Um Erfahrungen mit der Anlage zu sammeln, sollte ein Testempfänger auf einer Veroboard-Leiterplatte aufgebaut werden. Die Nachbausicherheit der später beschriebenen gedruckten Schaltung ist zwar höher, aber es lassen sich infolge der hohen Packungsdichte der Bauteile nur schwer Kontrollmessungen ausführen. Auf der Veroboard-Platine sind dagegen alle Bauteile für die Aufnahme von Oszillogrammen gut zugänglich. Außerdem lassen sich Steckfassungen verwenden, die ein einfaches Auswechseln defekter ICs ermöglichen.

6.1 Dekoder und Fahrtregler

In *Abb. 65* ist der Schaltplan des Empfängers ohne Schaltverstärker wiedergegeben, *Tabelle 4* enthält die zugehörige Stückliste. Br ist ein Brückengleichrichter, der die Schaltung unabhängig von der Schienenpolarität macht. Der integrierte Spannungsregler IC1 stabilisiert die Versorgungsspannung auf 5 V, C1 hält sprunghafte Laständerungen vom Regler fern. Die Z-Diode D1 bewirkt eine Potentialverschiebung um –16 V. Daher reicht die reine Fahrspannung von 15 V nicht aus, einen Zenerstrom fließen zu lassen.
Die Basis von T1 wird über R2 an Masse gelegt, so daß T1 sperrt. Die Steuerimpulse haben eine Höhe von 20 V. Treffen sie auf den Empfänger, so kann ein Basisstrom über R1 und D1 fließen, und T2 öffnet. Der Kondensator C2 bildet zusammen mit R1 ein Integrationsglied. Es verhindert ein Durchgreifen von kurzzeitigen Störimpulsen auf T1. Für die Dauer der Steuerimpulse liegt das Kollektorpotential von T1 auf L, sonst auf H. Die Signale gelangen also in invertierter Form an den Takteingang des Zählers IC2, der die Dekodierung vornimmt. Es handelt sich um den CD 4022, der auch im Sender verwendet wird. Der Zähler schaltet

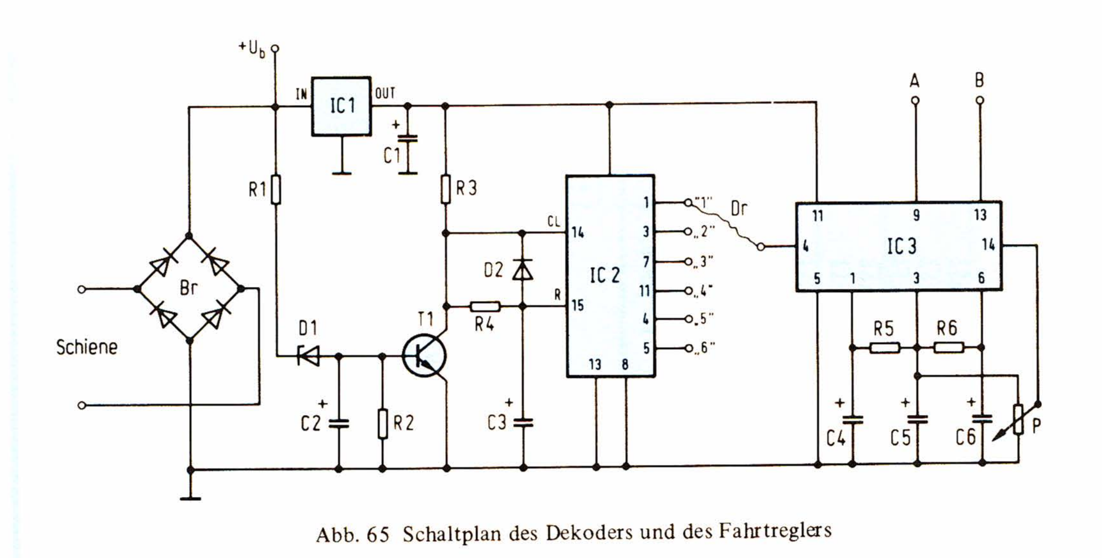


Abb. 65 Schaltplan des Dekoders und des Fahrtreglers

Tabelle 4

Stückliste zu Abb. 65

Widerstände

R1, R3	1 kΩ	
R2	2,2 kΩ	
R4	47 kΩ	
R5	18 kΩ	
R6	15 kΩ	
P	5 kΩ	Trimmpotentiometer

Kondensatoren

C1	33 μF/6,3 V	Tantal
C2, C3, C4	0,1 μF/6,3 V	Tantal
C5, C6	1 μF/6,3 V	Tantal

Halbleiter

D1	BZX 83 C16	Z–Diode 16 V
D2	BA 127	Si-Universaldiode
T1	BC 547	NPN-Si-Universal-transistor
IC1	μA 78L05	Spannungsregler 100
IC2	CD 4022	Oktalzähler
IC3	NE 544	Servoverstärker
Br	B40 C1000	Brückengleichrichter

Sonstiges

Dr	Drahtbrücke (Jumper)

bei jeder positiven Flanke einen Schritt weiter. Der jeweils aktivierte Ausgang ist bis zum Eintreffen der nächsten positiven Flanke auf H–Potential, während alle anderen Ausgänge auf L liegen. An den Ausgängen „1" . . . „6" können also die Kanalimpulse K1 . . . K6 abgenommen werden (*Abb. 66a*).

R4, D2 und C3 dienen der Pausenerkennung. Der Kondensator C3 wird über R4 aufgeladen, solange das Kollektorpotential

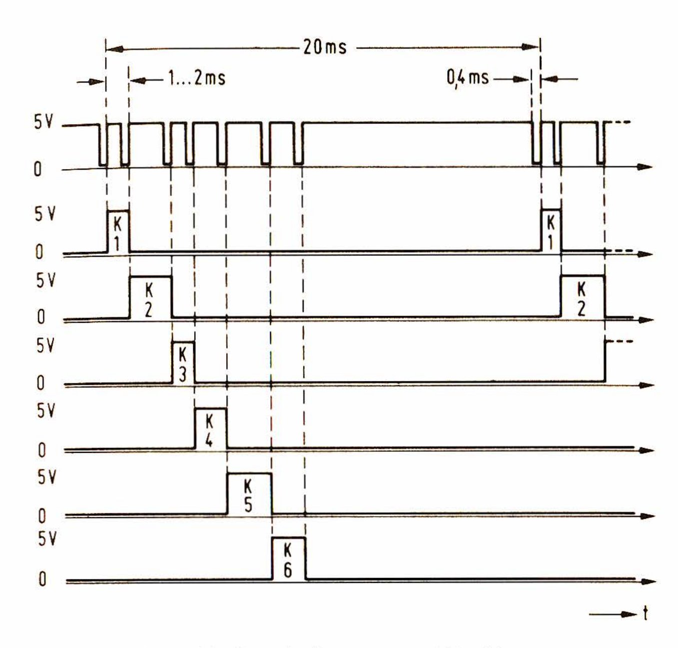


Abb. 66a Impulsdiagramm zu Abb. 65

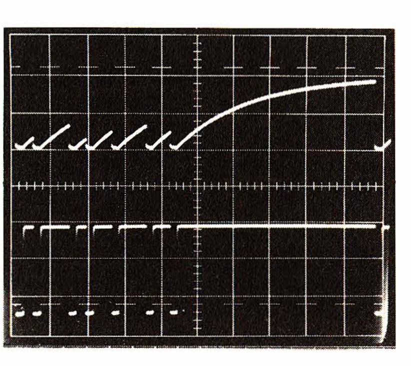


Abb. 66b Pausenerkennung.
Oben: Signalverlauf am Kondensator C3 (Abb.65); x-Achse: 2 ms/Skt., y-Achse: 2 V/Skt.
Unten: Signalverlauf am Kollektor von T1 (Abb.65); x-Achse: 2 ms/Skt., y-Achse: 2 V/Skt.

von T1 auf H liegt. Schaltet ein Steuerimpuls den Transistor auf L, so wird C3 über D2 schlagartig entladen. Die Zeitkonstante R4 · C3 ist nun so gewählt, daß die Zeit zwischen zwei Steuerimpulsen nicht ausreicht, den Kondensator bis zur Schwellspannung des Rücksetzeinganges aufzuladen. Die Pause zwischen zwei Impulszügen ist dagegen lang genug, sie setzt den Zähler auf „0" (*Abb. 66b,* vergleiche auch Abb. 45).

Mit der Drahtbrücke Dr wird der Fahrtregler auf den gewünschten Kanal eingestellt. Die Kanalimpulse gelangen an den Eingang (Anschluß 4) des IC3. Das Blockschaltbild des NE 544 zeigt *Abb. 67a,* die Anschlußbelegung *Abb. 67b.*

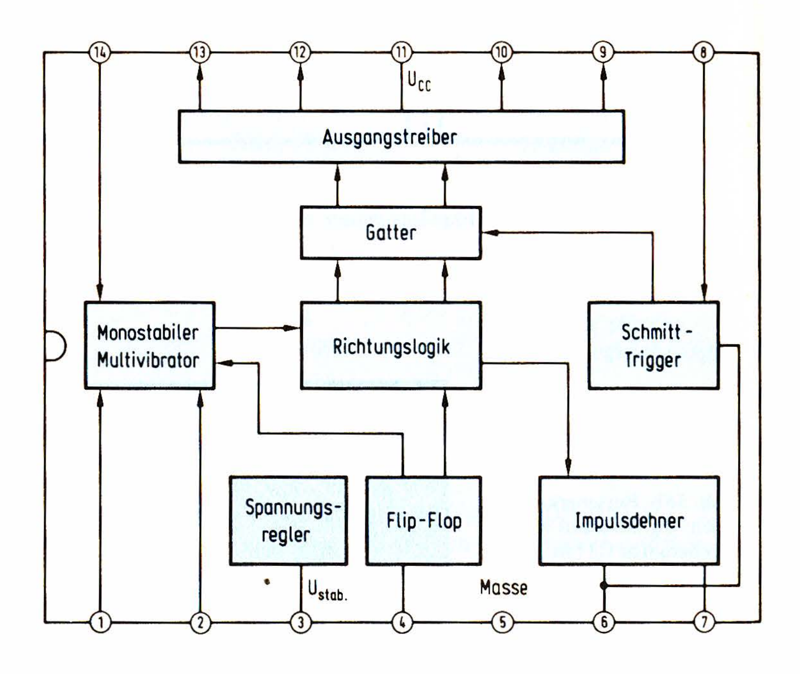


Abb. 67a Blockschaltbild des NE 544

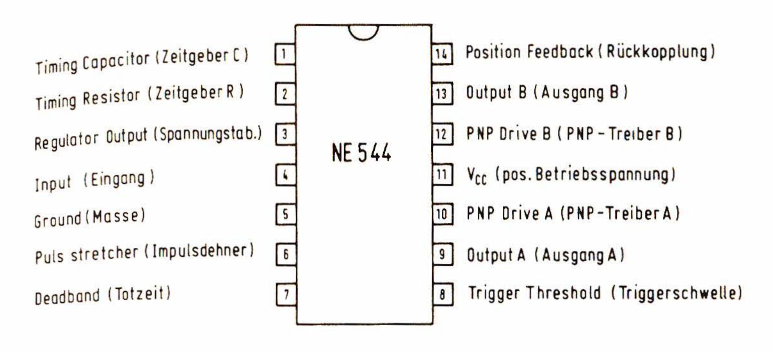


Abb. 67b Anschlußbelegung des NE 544

Der NE 544 wird in Funkfernsteueranlagen als Servoverstärker eingesetzt. Die hier wiedergegebene äußere Beschaltung weicht ein wenig von der vom Hersteller empfohlenen ab. An Anschluß 3 kann eine stabilisierte Spannung von 2 V abgenommen werden, sie wird durch C5 zusätzlich gesiebt. R5 und C4 bestimmen, zusammen mit der an Anschluß 14 liegenden Spannung, die Dauer des internen Referenzimpulses. Sie beträgt:

$$T = R5 \cdot C4 \cdot \ln \frac{U_3}{U_3 - U_{14}} \qquad U_x: \text{Spannung am Anschluß x}$$

Die Einstellung auf 1,5 ms erfolgt mit dem Potentiometer P. Bei korrekter Justierung dürfen Kanalimpulse von 1,5 ms Dauer keine der beiden Endstufen durchsteuern.

Mit C6 und R6 wird der Grad der Impulsdehnung festgelegt. Man wählt R6 so groß, daß bei maximaler Differenzimpulslänge die betreffende Endstufe des ICs gerade dauernd leitet (*Abb. 68*, vergleiche auch Abb. 48).

Von C6 hängt auch der Totbereich dieser Schaltung ab. Der Totbereich drückt aus, wie groß der Differenzimpuls mindestens sein muß, um den Endverstärker gerade durchzusteuern. Bei den typischen Servoschaltungen ist dieser Totbereich so klein, daß es

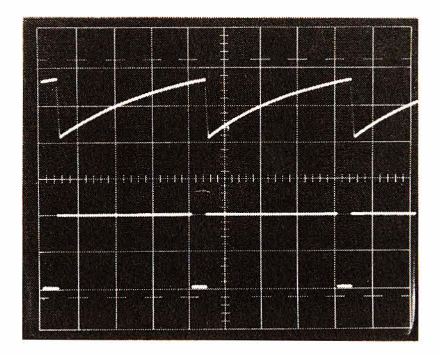


Abb. 68 Impulsdehnung.
Oben: Signalverlauf am Kondensator C6 (Abb.65) bei nahezu maximaler Differenzimpulslänge
x-Achse: 5 ms/Skt.,
y-Achse: 1 V/Skt.
Unten: Gedehnte Impulse am Ausgang des NE 544;
x-Achse: 5 ms/Skt.,
y-Achse: 2 V/Skt.

praktisch unmöglich wäre, die Lokomotiven zum Halten zu bringen. Der hier angegebene Wert von C6 vergrößert den Totbereich auf etwa 10 % des Reglerweges.

Schaltet man einen Widerstand von Anschluß 8 nach Masse, so kann die minimale Ausgangsimpulsdauer verringert werden. Im allgemeinen ist das aber nicht nötig, da die Lokomotiven erst bei einer Impulsdauer von etwa 2 ms anfahren und bei kürzeren Impulsen nur brummen würden.

Der Servoverstärker enthält eine Brückenendstufe zum direkten Anschluß von Servomotoren. Die Lokomotivmotoren werden aber mit einer Spannung von 12 V . . . 15 V betrieben und ihre Stromaufnahme würde die Endstufentransistoren überlasten. Daher ist noch ein separater Schaltverstärker nötig, der die Ausgangsimpulse, abgenommen an den Anschlüssen 9 und 13, auf die erforderliche Leistung bringt.

Schaltverstärker und Dekoder werden zusammen auf einer Platine untergebracht.

6.2 Ansteuerung von Gleich- und Wechselstrommotoren mit Fehlimpulsunterdrückung

Den Schaltverstärker für Gleichstrommotoren zeigt *Abb. 69a*, *Tabelle 5* gibt die zugehörige Stückliste wieder. T3, T4, T6 und T7 bilden eine Brückenschaltung. Nehmen wir an, A liege

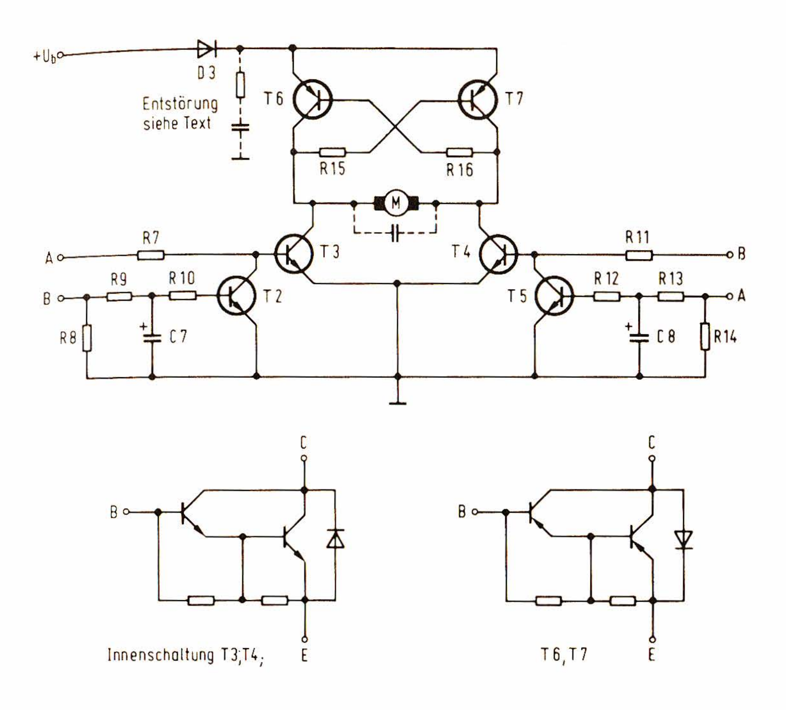


Abb. 69a Schaltplan des Schaltverstärkers für Gleichstrommotoren

Tabelle 5

Stückliste zu Abb. 69

Widerstände

R7, R11, R15, R16	4,7 kΩ
R8, R14	1 kΩ
R9, R10, R12, R13	47 kΩ

Kondensatoren

C7, C8	10 µF/6,3 V	Tantal

Halbleiter

D3	1N 4001	Si-Leistungsdiode
T2, T5	BC 547	NPN-Si-Universal-transistor
T3, T4	BD 677	NPN-Si-Darlington-leistungstransistor
T6, T7	BD 678	PNP-Si-Darlington-leistungstransistor

Sonstiges

Veroboard-Leiterplatte M6 oder gedruckte Leiterplatte

auf H–Potential und B auf L. Dann öffnet T3, so daß sein Kollektor L–Potential führt. Damit erhält T7 über R15 Basisstrom und öffnet ebenfalls. T4 und T6 sperren.
Liegt A auf H und B auf L, so öffnen dagegen T4 und T6 und T3 und T7 sperren.

Für die Brücke werden Darlingtontransistoren eingesetzt. Sie erfordern nur geringe Steuerströme, da sich die Stromverstärkungsfaktoren der Einzeltransistoren multiplizieren. Durch die hohe Stromverstärkung schalten die Darlingtontransistoren auch noch bei großen Strömen besser durch als Normaltransistoren. Sie sind außerdem mit Schutzdioden ausgerüstet, wodurch die Zahl der benötigten Bauelemente sinkt. Eine Kühlung der Transistoren ist nicht erforderlich, da sie im Schalterbetrieb arbeiten und ihre Verlustleistung somit gering ist.

Die Diode D3 entkoppelt den Schaltverstärker von der Steuerelektronik. Sie blockt Spannungsspitzen ab, die der laufende Motor erzeugt und die wie Steuerimpulse wirken würden. Sollten dennoch Störimpulse auftreten, so ist zusätzlich ein Entstörglied vorzusehen. Man schaltet dazu von der Kathode der Diode D3 über einen Widerstand von 15 Ω einen Tantal-

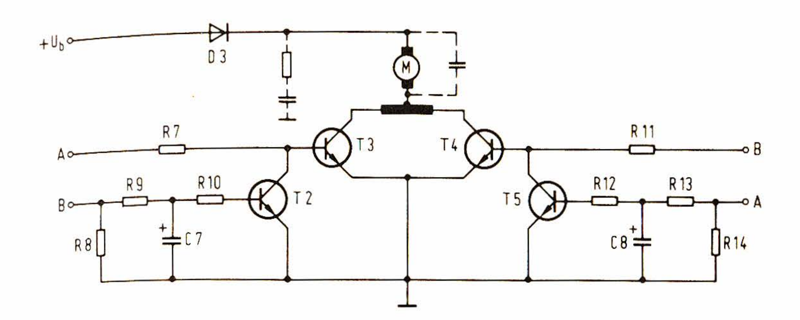


Abb. 69b Schaltplan des Schaltverstärkers für Wechselstrommotoren

kondensator der Kapazität 1 µF nach Masse. An die Motoranschlüsse wird noch ein Kondensator von 10 nF gelötet, falls nicht serienmäßig Funkentstörkondensatoren und -drosseln vorhanden sind.

Für Wechselstrommotoren ist eine Brückenschaltung nicht erforderlich, so daß T6, T7, R15 und R16 entfallen (*Abb. 69b*).

Fehlimpulsunterdrückung

Bei den ersten Versuchen mit der Empfängerschaltung fiel auf, daß die Lokomotiven ausgesprochen giftig auf Kontaktunterbrechungen reagierten, auch wenn diese so kurz waren, daß die Synchronisation in Bruchteilen von Sekunden wieder hergestellt sein mußte. Ganz im Gegensatz dazu merkt man handelsüblichen Loks ohne Elektronik Kontaktunterbrechungen selbst bis zu einer Sekunde kaum an. Wie erklärt sich dieser Unterschied? Wird ein Motor von der Spannungsquelle getrennt, so läuft er aufgrund der Massenträgheit eine Weile als Generator weiter. Dabei ist es ein erheblicher Unterschied, ob die Pole des Motors kurzgeschlossen sind oder nicht. Sind sie offen, so sind nur Reibungswiderstände vorhanden. Wegen des relativ großen Trägheitsmoments des Ankers werden kurzzeitige Unterbrechungen des Motorstroms überbrückt. Bei kurzgeschlossenem Motor wird in den

Ankerwicklungen ein Strom induziert, der den Motor stark abbremst. Noch erheblich stärker wird der Effekt, wenn die Motorspannung sogar umgepolt wird. Bei jeder Kontaktunterbrechung gerät die Synchronisation zwischen Sender und Empfänger aber kurz aus dem Takt. Für einen Zyklus kann der Motor einen falschen Befehl erhalten, also z.B. umgepolt werden. Auch wenn die Synchronisation danach sofort wieder einsetzt, führt das zu einem geräuschvollen „Verschlucken" des Motors und zu lebhaftem Kontaktfeuer.

An den Kontaktunterbrechungen kann man prinzipiell nichts ändern, sie treten auch bei sauberen Schienen und Stromabnehmern immer mal wieder auf. Aber man kann das Verhalten der elektronisch gesteuerten Loks dem der Normalloks angleichen, indem man verhindert, daß ein laufender Motor durch einen Fehlimpuls kurzzeitig umgepolt werden kann.

Dafür sorgen die Transistoren T2 und T5 und die sie ansteuernden Integrationsglieder. Nehmen wir an, der Transistor T3 wird über den Eingang A mit positiven Impulsen angesteuert. T3 wird also periodisch geöffnet, gleichzeitig beginnt sich C8 über R13 aufzuladen. Nach einer Zeit t_1, die noch von der Impulsdauer abhängt, öffnet auch T5. Dadurch wird die Basis von T4 an Masse gelegt, so daß ein eventueller Störimpuls auf Eingang B diesen Transistor nicht öffnen kann. Nach Ende der Steuerimpulse entlädt sich C8 über R12. Erst nach einer Zeit t_2 kann auch T4 wieder geöffnet werden. Ein Störimpuls auf Eingang B beginnt allerdings auch C7 über R9 aufzuladen. Wäre die Zeitkonstante ($\triangleq t_1$) zu klein bemessen, so würde durch diesen Störimpuls die Basis von T3 sofort an Masse gelegt, so daß die nachfolgenden regulären Impulse den Transistor nicht öffnen könnten. Nicht nur die Entriegelung, sondern auch die Verriegelung muß also verzögert sein. Die analogen Vorgänge spielen sich bei Ansteuerung von T4 ab. Die Widerstände R8 und R14 ziehen die Ausgänge des ICs während der Impulspausen auf Massepotential.

Die Verriegelungen wirken sich im Fahrbetrieb äußerst vorteilhaft aus. Steht die Lok, so sind die Kondensatoren C7

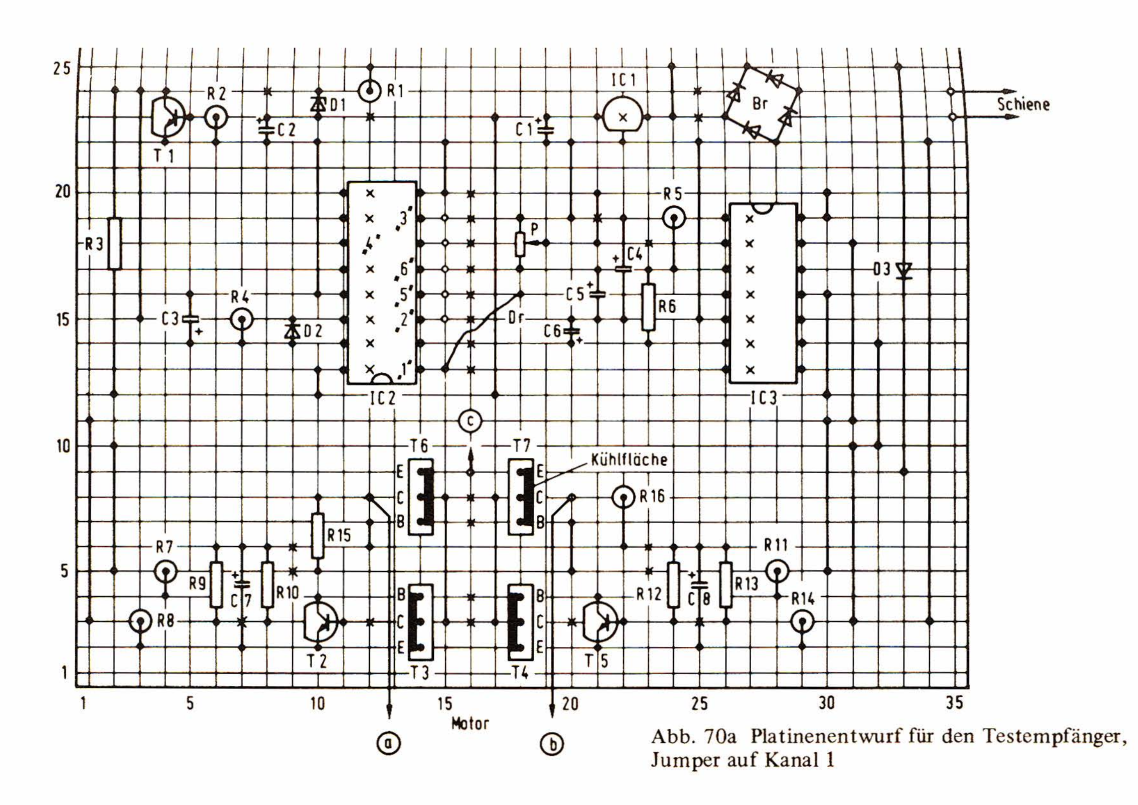


Abb. 70a Platinenentwurf für den Testempfänger, Jumper auf Kanal 1

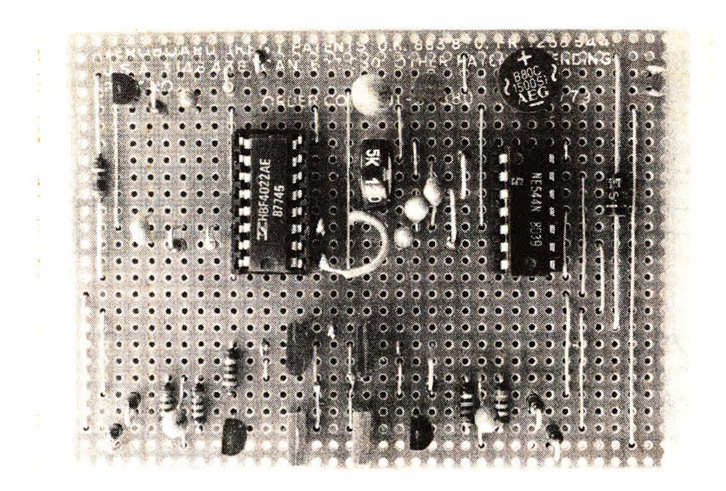


Abb. 70b Bestückte Platine Testempfänger

und C8 entladen. T2 und T5 sperren also, d.h. die Lok kann ohne Verzögerung anfahren. Ein ungewohntes Fahrverhalten tritt nur auf, wenn die Lok unvermittelt von Vor- auf Rückwärtsfahrt oder umgekehrt geschaltet wird. Es macht sich dann eine Umschaltverzögerung von einer knappen Sekunde bemerkbar. Allerdings entspricht ein solch abrupter Richtungswechsel ja auch keineswegs den Gepflogenheiten beim Großbetrieb.

In *Abb. 70a* ist der Entwurf für den Testempfänger wiedergegeben, *Abb. 70b* zeigt den fertigen Baustein. Der abgebildete Empfänger enthält die Brücke für Gleichstrommotoren. Sollen Wechselstrommotoren betrieben werden, so entfallen T6, T7, R15 und R16.

6.3 Entwurf einer gedruckten Platine

Wegen des beschränkten Platzangebotes in den Lokomotiven, kommen für die endgültige Ausführung der Empfänger nur gedruckte Schaltungen infrage. Der Platinenentwurf hängt von

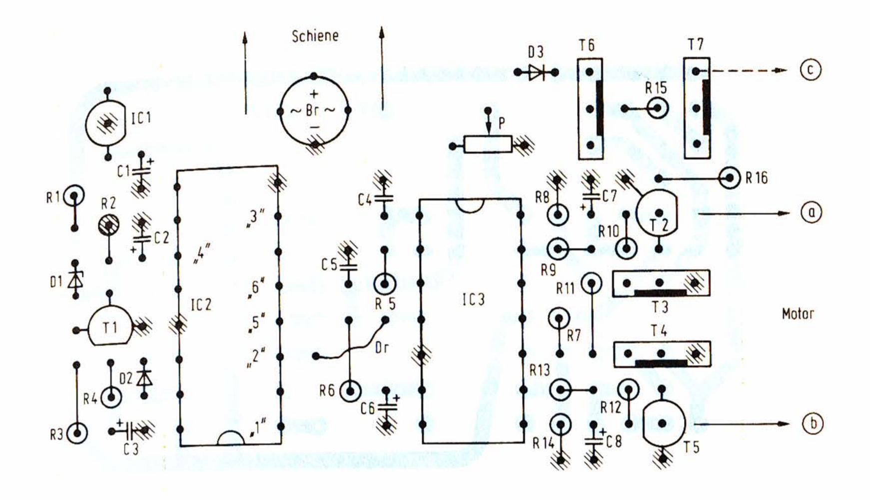


Abb. 71a Bestückungsplan des Empfängers in gedruckter Schaltung, Jumper auf Kanal 2

den speziellen Raumverhältnissen der jeweils umzurüstenden Lok ab. *Abb. 71a* zeigt ein Beispiel. Als Ausgangsmaterial wird hier eine zweiseitig kupferkaschierte Platte verwendet. Die Leiterbahnen auf der Unterseite sind so gezeichnet, als wäre die Platte durchsichtig. Die gesamte Bestückungsseite bleibt durchgehend mit Kupfer beschichtet, diese Schicht stellt die Masseverbindungen her. Da die Bohrungen nicht durchkontaktiert sind, müssen die Lötverbindungen nach Masse auf der Bestückungsseite ausgeführt werden. Sie sind durch schraffierte Kreisflächen gekennzeichnet. Damit die übrigen Anschlüsse nicht in Kontakt mit Masse kommen können, wird die Kupferschicht um die betreffenden Bohrungen mit einem Senker entfernt. Es wird empfohlen, zuerst die Bauteile einzulöten, die Masseverbindungen bekommen, damit man diese Lötstellen noch bequem mit dem Lötkolben erreicht.

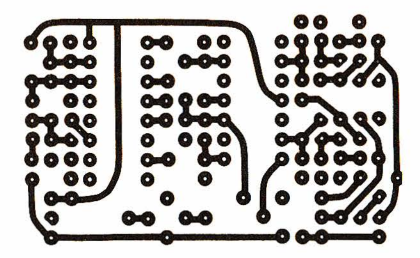


Abb. 71b Leiterbild von der Leiterseite aus gesehen Maßstab 1:1

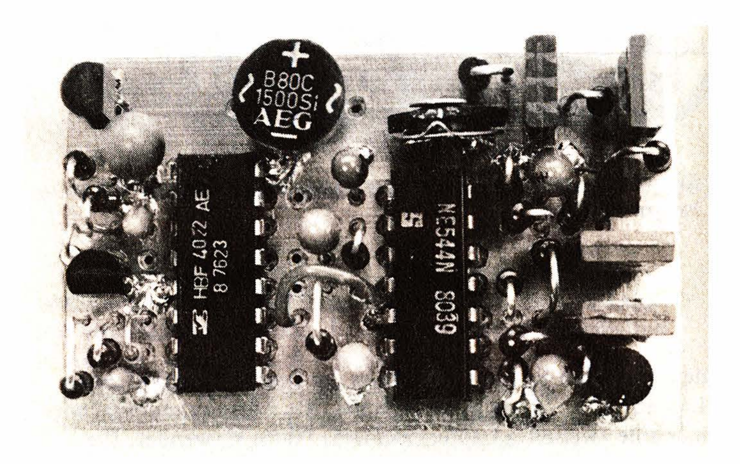


Abb. 71c Bestückte Empfängerplatine

Wer mit der Herstellung von gedruckten Schaltungen noch nicht vertraut ist, kann z.B. in [16] alles wissenswerte nachlesen. Das Leiterbild wurde mit Hilfe von selbstklebenden Symbolen und Bändern im Maßstab 2 : 1 entworfen und fotografisch auf die Hälfte verkleinert. *Abb. 71b* zeigt den Entwurf im Maßstab 1 : 1 von der Leiterseite aus gesehen. Das Leiterbild kann mit Abdecklack direkt auf die Kupferschicht gezeichnet werden. Vor dem Ätzen wird natürlich auch die andere Seite der Platine

abgedeckt. Der Autor hat das Leiterbild fotografisch übertragen. Dafür ist kupferkaschiertes Basismaterial im Handel, das mit einem lichtempfindlichen Lack beschichtet ist. Das transparente Positiv legt man seitenrichtig auf die Platine und deckt darüber eine Glasplatte. Belichtet wird mit einer UV-Lampe, z.B. einer Höhensonne. Nach dem Entwickeln der belichteten Platte wird wieder das überschüssige Kupfer weggeätzt und der Lack mit Aceton entfernt. Beim Anbringen der Bohrungen dienen die Lötaugen als Zentrierhilfe für den Bohrer.

Abb. 71c zeigt die bestückte Platine. Sie enthält die vollständige Brückenschaltung für Gleichstrommotoren. Für Wechselstrommotoren entfallen T6, T7, R15 und R16.

6.4 Einbauhinweise und Inbetriebnahme

Bevor der Empfänger in eine Lokomotive eingebaut wird, ist zu überprüfen, ob der Motor vom Chassis isoliert ist. Bei manchen Fabrikaten hat eine Schleifbürste elektrische Verbindung über das Motorgehäuse und Chassis zu der linken Radseite. Man lötet zunächst die Zuleitungsdrähte von den Motorbürsten ab. Mit einem Ohmmeter mißt man den Widerstand zwischen jeder Bürste und dem Chassis. Zeigt das Gerät beide Male Maximum an, so kann der Empfänger verdrahtet werden. Andernfalls ist der Motor oder die Bürstenhalterung auszubauen und isoliert zu befestigen. Bei *Märklin*-Loks ist die Bürstenhalterung isoliert, so daß diese Maßnahme nicht notwendig ist. Bei einer *Fleischmann*-Lok bestand eine Verbindung von einer Bürste zum Motorgehäuse, dieses schien aber von Chassis und Rädern isoliert zu sein. Beim Fahrbetrieb traten dann unerwartete Störungen auf. Eine nähere Untersuchung ergab, daß ein Rad in Kurvenfahrten Kontakt mit dem Motor bekam, so daß doch eine Isolierung der Bürsten vom Motorgehäuse vorgenommen werden mußte.

Den Anschluß des Empfängers für Gleich- und Wechselstromloks zeigt *Abb. 72.* Er wird einfach zwischen Radschleifer und Motor geschaltet.

Da die Fahrtrichtung nicht mehr durch die Schienenpolarität festgelegt wird, entfällt die Möglichkeit der Stirnlampenumschal-

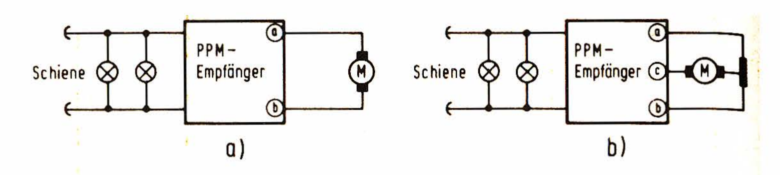


Abb. 72 Verdrahtung des Empfängerbausteins.
a) Gleichstrom-, b) Wechselstromausführung

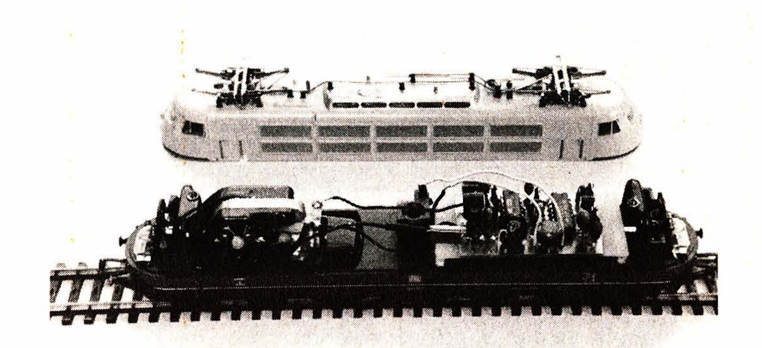


Abb. 73 Einbau des Empfängers in eine E-Lok der Baureihe 103 (*Märklin*)

tung mittels Dioden. In Kapitel 7.4 wird ein Flip-Flop beschrieben, das diese Aufgabe übernimmt. Verzichtet man auf eine Umschaltung, so können alle Lampen parallel zum Empfängereingang gelötet werden.

Bei *Märklin*-Loks entfällt das Umschaltrelais (*Abb. 73*). Die eine Eingangsklemme des Empfängers wird mit dem Skischleifer verbunden, die andere mit dem Gehäuse (Masse). Oft bildet eine Bürste dieser Loks die Hauptlötstelle, von der auch die Verbindungskabel zu den Lampen führen. Man darf nicht vergessen, diese Kabel vom Motor abzutrennen.

Die Platine kann durch Kleben oder Schrauben in der Lok befestigt werden, wobei darauf zu achten ist, daß kein Teil der Schaltung mit Metallteilen von Chassis oder Gehäuse in Berührung kommt.

Große Diesel- und Elektrolokomotiven bieten genügend Platz für den Empfänger nach Abb. 71c, auch paßt er bequem in den Tender von Schlepptenderloks. Bei Tenderantrieb muß eine schmalere Platine für den Einbau in den Kessel entworfen werden, notfalls wird sie in einem ständig an die Lok gekuppelten Wagen untergebracht.

Nach einem letzten Abgleich der Elektronik kann die Lok verschlossen und in Betrieb genommen werden. Obwohl sich kurze Kontaktunterbrechungen beim Fahrbetrieb nicht bemerkbar machen, sollten die Schienen doch gründlich gereinigt werden. Bei größeren Streckenlängen empfiehlt es sich, den Fahrstrom aus genügend dicken Kupferdrähten mehrfach einzuspeisen, damit keine größeren Spannungsabfälle an Drähten und Schienen entstehen.

7 Zusatzschaltungen

7.1 Gemeinsamer Betrieb mit serienmäßigen Lokomotiven

Auf einer Anlage, die mit einer elektronischen Mehrzugsteuerung ausgerüstet ist, können selbstverständlich auch serienmäßige Lokomotiven mit konventionellen Fahrpulten betrieben werden, wenn man Stromkreistrennungen vornimmt. Betrachten wir z.B. den Oberleitungsbetrieb. Die elektronisch gesteuerten Loks werden auf Schienenstromabnahme eingestellt. Dann kann eine nicht umgerüstete E-Lok die Fahrspannung wie üblich vom Normalpult über die Oberleitung erhalten und gleichzeitig mit den anderen auf demselben Gleis verkehren. *Abb. 74* zeigt die Schaltung. Der Nulleiter ist gemeinsamer Rückleiter für beide Systeme, auch beim *Märklin*-Punktkontaktgleis.

Rüstet man ausschließlich E-Loks mit der elektronischen Steuerung aus, so können diese über die Oberleitung versorgt werden. Die serienmäßige siebte Lok erhält dann den Fahrstrom

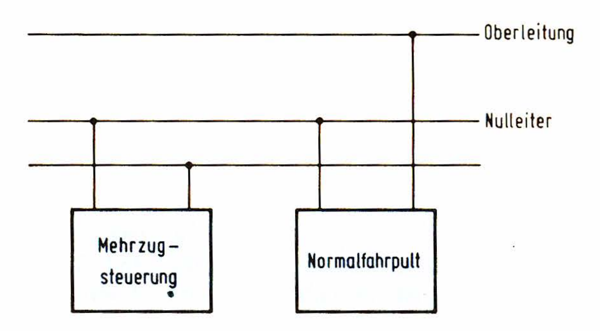


Abb. 74 Zusätzlich zu den elektronisch gesteuerten Lokomotiven kann eine serienmäßige Oberleitungslok betrieben werden

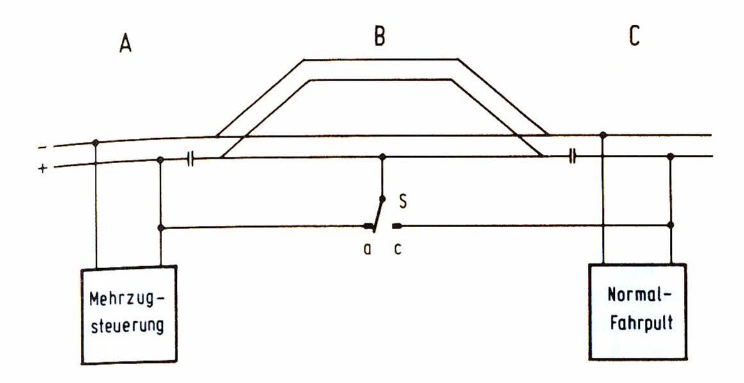


Abb. 75 Umschaltung eines Gleisabschnitts für den Betrieb mit elektronisch gesteuerten oder serienmäßigen Loks

über die Schienen. So kann auch eine kleine Rangierlok, die nicht genügend Platz für den Einbau des Empfängers bietet, ihren Dienst auf der Anlage versehen.

Steht keine Oberleitung zur Verfügung, so kann man das Schienennetz in Stromkreise unterteilen. *Abb. 75* zeigt ein Beispiel. Soll eine elektronisch gesteuerte Lok aus dem Bereich A in den Bereich B einfahren, ist der Schalter S auf a zu stellen. Die serienmäßige Lok hält sich unterdessen in C auf. Ist die erste Lok wieder nach A zurückgekehrt, so kann die zweite in B einfahren, nachdem der Schalter auf c gestellt wurde.

7.2 Kehrschleifen

Beim Zweileiter-Gleichstrom-System erfordern Kehrschleifen besondere Schaltmaßnahmen (siehe z.B. [1]). Bei Einsatz der Mehrzugsteuerung vereinfacht sich das Problem, da die Fahrtrichtung der Lokomotiven nicht von der Schienenpolarität abhängt. Trotzdem genügt eine einfache Gleistrennung nach

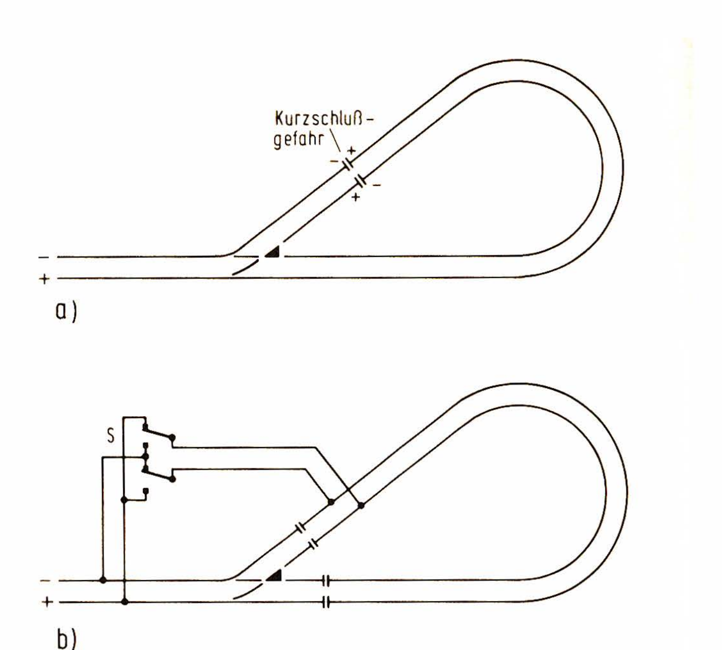


Abb. 76a Bei einer Kehrschleife stoßen an den Trennstellen Schienen mit entgegengesetzter Polarität zusammen

Abb. 76b Um Kurzschlüsse durch die Metallräder der Fahrzeuge zu vermeiden, muß die Polarität der Schleife umkehrbar sein

Abb. 76a nicht, da die Metallräder der Fahrzeuge an den Trennstellen einen Kurzschluß verursachen würden. Man muß daher, wie in *Abb. 76b* gezeigt, die Schienenpolarität in der Kehrschleife umschaltbar machen. Der Schalter S ist so zu stellen, daß die Polarität in der Schleife die gleiche ist, wie in dem befahrenen Weichenzweig. Befindet sich der Zug in der Schleife, so wechselt man die Polarität. Das kann während der Fahrt geschehen, da die Lok nicht darauf reagiert.

In der Praxis wird man den Schaltvorgang automatisieren, also mit Hilfe von Gleiskontakten und Relais durch den fahrenden

Zug selbst auslösen lassen. Dabei können der Schalter S und die Weiche gekoppelt werden. Diese darf dann aber nicht „aufgeschnitten" werden, sondern sie muß auch gestellt werden, wenn der Zug aus der Schleife kommt.

Bei echtem Oberleitungsbetrieb wird die Sache komplizierter, da die stromabnehmende Radseite nach der Fahrt durch die Kehrschleife nicht mehr auf die Nulleiterschiene kommt. Man kann zwar die Polarität der Stammstrecke umschalten, aber nur, wenn nur eine E-Lok eingesetzt wird. Wir wollen hier das Problem nicht weiter vertiefen, Interessenten können Lösungsmöglichkeiten in [1] nachlesen. Bei Mittelleitergleisen sind infolge der Symmetrie der Stromführung keine besonderen Schaltmaßnahmen erforderlich.

7.3 Zugbeleuchtung, Stirnlampenumschaltung, Geräuschelektronik

Die Mehrzugsteuerung liefert uns eine Dauerzugbeleuchtung sozusagen kostenlos mit, da an den Schienen stets die volle Fahrspannung liegt. Man kann so viele Beleuchtungslämpchen anschließen wie man will, vorausgesetzt daß das Fahrspannungsgerät die nötige Leistung aufbringen kann. Meist wird es nötig sein, einen stärkeren Trafo zu benutzen. Haben wir z.B. den 3-A-Typ eingesetzt und verbrauchen für die Beleuchtung 1 A, so stehen eben für die Lokomotiven nur noch 2 A zur Verfügung. Die Lämpchen sollten für 15 V Betriebsspannung ausgelegt sein, 12-V-Ausführungen erhalten einen Vorwiderstand.

Fügt man einen Gleichrichter ein (*Abb. 77*), so läßt sich die Beleuchtung von außen her an- und abstellen, indem man die Schienenpolarität umschaltet. Das ganze ist natürlich nicht sinnvoll, wenn auf der Anlage Kehrschleifen vorhanden sind, die ja ebenfalls einen Polaritätswechsel erfordern.

Da die Fahrtrichtung nicht mehr durch die Schienenpolarität festgelegt wird, kann die Stirnlampenumschaltung auch nicht mehr mit Hilfe von Dioden erfolgen. Die Aufgabe kann aber von einem einfachen Flip-Flop (*Abb. 78*) übernommen werden,

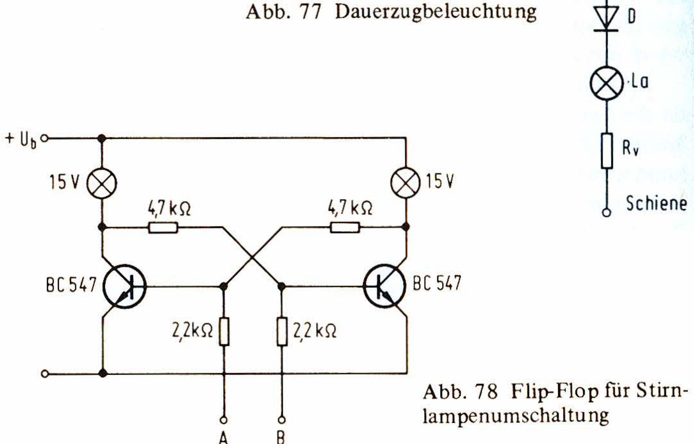


Abb. 77 Dauerzugbeleuchtung

Abb. 78 Flip-Flop für Stirnlampenumschaltung

das die Fahrtrichtungsinformation speichert. Die Anschlüsse A und B werden an die gleichbenannten Ausgänge des IC 3 des Fahrtreglers gelötet. Besonders zu beachten ist, daß die Lampen völlig isoliert vom Chassis befestigt werden müssen!

Geräuschelektroniken können nicht zusammen mit der Mehrzugsteuerung betrieben werden, wenn die Tonsignale über die Schienen geleitet werden. Das würde nämlich die Steuersignale störend beeinflussen. Dagegen kann ein Geräuschgenerator in eine Lokomotive eingebaut und an der Schienenspannung betrieben werden. Das Problem wird sein, den nötigen Platz zu finden.

7.4 Blocksicherung

Da die Mehrzugsteuerung den uneingeschränkten Betrieb von vielen Zügen ermöglicht, wächst natürlich auch die Gefahr von Kollisionen. Daher ist der Einsatz einer Blocksicherung vorteilhaft. Die abzusichernde Strecke wird dabei in Blockstrecken aufgeteilt, in die ein Zug nur dann einfahren darf, wenn sich kein

anderes Fahrzeug darin befindet. Am Eingang einer Blockstrecke steht ein Signal, dessen Stellung von einer Gleisbesetztmeldung der Blockstrecke abhängt.

Auf der Modellbahn wird der Zug vor einem auf „Halt" stehenden Blocksignal durch Abschalten der Betriebsspannung in einem zugeordnetem Gleisabschnitt angehalten. Leider erlischt dann auch die Zugbeleuchtung, es sei denn, man speist aus einem separatem Netzteil die Gleisgrundspannung ohne Steuersignale ein. Ordnet man die Abschaltstrecke hinter dem Signal an, so bleibt die Möglichkeit, den Zug manuell langsam und stetig abzubremsen und vor dem Signal zum Halten zu bringen. Erst wenn das Signal aus Unachtsamkeit überfahren wird, setzt eine automatische „Zwangsbremsung" ein.

Die Gleisbesetztmeldung erfolgt über Gleiskontakte am Anfang und Ende der Blockstrecken. Auch elektronische Ausführungen kommen in Betracht, solange der Fahrstrom nicht durch Spulen oder Transformatoren geleitet wird. Dadurch könnten die Steuerimpulse gestört werden. Da an den Schienen stets Fahrspannung mit fester Polarität liegt, lassen sich sehr einfache Schaltungen aufbauen; *Abb. 79* zeigt ein Beispiel. Die

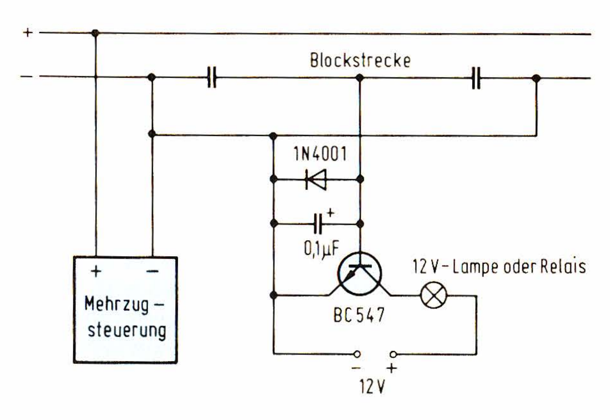


Abb. 79 Gleisbesetztanzeige

Schaltung spricht schon auf den Ruhestrom der Lokomotivempfänger an. Wie man Blocksicherungen im einzelnen aufbaut wird z.B. in [17, 18] beschrieben.

7.5 Schaltfunktionen

In den Lokomotiven lassen sich weitere Funktionen ferngesteuert auslösen, wenn man die Empfänger mit einem zweiten IC NE 544 ausrüstet. Schalten lassen sich z.B. Entkuppler, Signalhorn, Licht usw. *Abb. 80* zeigt die Zusatzelektronik. Legt man den Eingang des internen Schmittriggers (Anschluß 7) an Masse, so bestimmt nur noch die Richtungslogik den Schaltzustand der Ausgangstransistoren. Es kommt also nur darauf an, ob die Kanalimpulse kürzer oder länger als die Referenzimpulse sind. Sind sie kürzer, so geht der Ausgang A (Anschluß 9) auf H-Potential und schaltet T durch. Sind sie länger, so bleibt A hochohmig und T sperrt. Umgekehrt verhält sich Ausgang B. Die Bauteile für die Impulsdehnung entfallen.

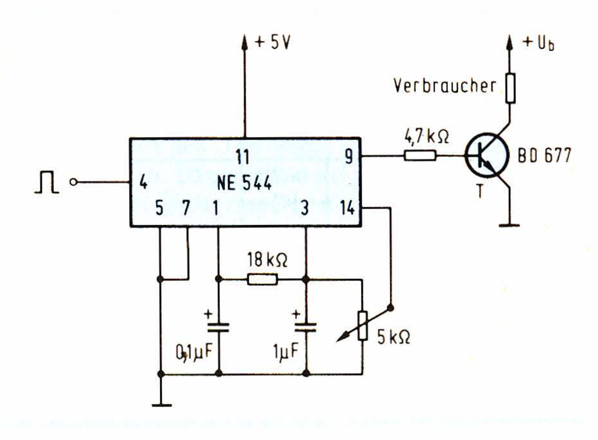


Abb. 80 Zusatz für Schaltfunktionen

8 Ferngesteuerter Oberleitungsomnibus

8.1 Einführung

Ein interessantes Thema für Modelleisenbahnen ist das Zusammenspiel von Eisenbahnen und Nahverkehrssystemen wie Bus und Straßenbahn. Zwar ist es leicht, einen Straßenbahnbetrieb vorbildgerecht darzustellen, da ausgereifte Modelle im Handel zu erwerben sind; Busse dagegen fungieren bisher nur als dekorative Standmodelle, oder sie werden spurgeführt. Das kann entweder durch eine Nut in der Fahrbahn geschehen, oder durch eine Oberleitung wie beim *Brawa*-Trolleybus. In jedem Fall ist der Weg eindeutig festgelegt; es kann nur noch die Geschwindigkeit beeinflußt werden. Um den Busverkehr realistischer nachzuvollziehen, muß man die Fahrzeuge mit einer Steuerelektronik ausrüsten.

Leider bereitet es aber nahezu unüberwindliche Schwierigkeiten in den kleinen Fahrzeugen der Baugröße HO eine Funkfernsteueranlage und Antriebsbatterien unterzubringen. Eine Möglichkeit das Problem zu umgehen, bieten die Oberleitungsomnibusse; sie können Fahrstrom und Steuerbefehle aus der Fahrleitung beziehen. Die notwendige Steuerelektronik wird dadurch sehr einfach und läßt sich auf einer winzigen Platine aufbauen, Batterien entfallen ganz. *Abb. 81* zeigt ein solches Modell*. Es kann vorwärts und rückwärts mit variabler Geschwindigkeit fahren und ist mit einer proportionalen Lenkung ausgerüstet.

Die Oberleitung stellt keine Einschränkung der Bewegungsfreiheit dar, denn die Fahrzeuge können die Straße über ihre gesamte Breite ausnutzen. Sie können überholen, Hindernissen ausweichen, kurzum: Ihr Fahrverhalten entspricht exakt dem

* D.B.P.a.

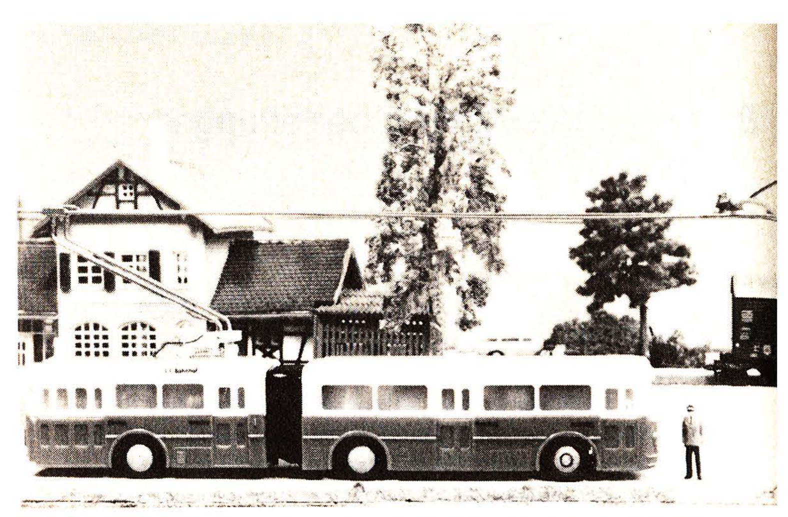
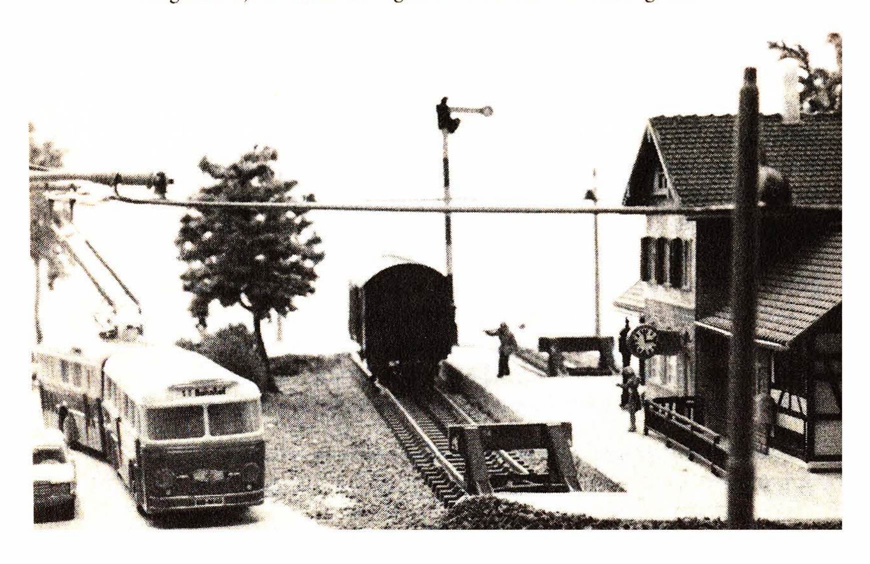


Abb. 81 Umgebautes *Brawa*-Modell eines *Henschel*-16,5m-Gelenkbusses im Maßstab 1:87

Abb. 82 Das Fahrzeug kann ferngesteuert mit variabler Geschwindigkeit vorwärts und rückwärts fahren und ist mit einer proportionalen Lenkung ausgerüstet, die einen naturgetreuen Fahrbetrieb ermöglicht



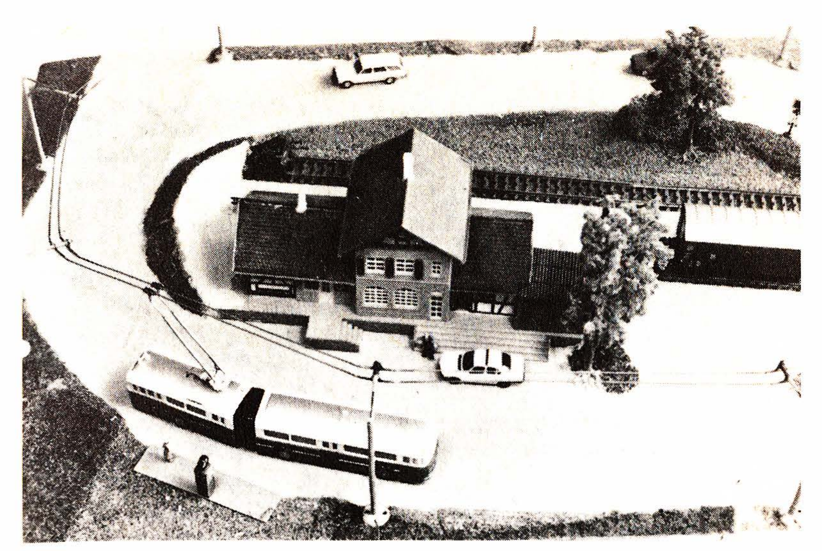


Abb. 83 Die Fahrdrähte lassen sich wie im Großbetrieb im Polygonzug verspannen, da sie keine Lenkfunktion mehr haben

des Vorbilds (*Abb. 82*). Das Fernsteuern macht überdies großen Spaß, wie jeder weiß, der einmal ein Funkfernsteuermodell in Betrieb genommen hat. Die Fahrdrähte lassen sich naturgetreu verspannen, da sie ja keine Lenkfunktion mehr haben (*Abb. 83*). Auch von dieser Seite her steht der Modelltreue also nichts im Weg.

8.2 Anmerkungen zur Geschichte und Technik des Vorbilds

Die ersten Oberleitungsomnibusse gab es bereits vor dem Ersten Weltkrieg. Die erste moderne Anlage wurde 1931 in Betrieb genommen; sie verband die Städte Mettman und Gruiten bei Wuppertal. 1933 wurde der O-Bus in Berlin eingeführt, wovon eine Briefmarke zeugt (*Abb. 84*). In den folgenden Jahren wurden eine Reihe von Straßenbahnlinien zugunsten des O-Busses stillgelegt. Treibstoffe auf Mineralölbasis waren knapp, da war es von Vorteil, Busse elektrisch anzutreiben. Die Kraftwerke konnten ja mit einheimischer Kohle beschickt werden. Trotzdem setzte sich der O-Bus in Deutschland nicht durch. Steigende Strompreise

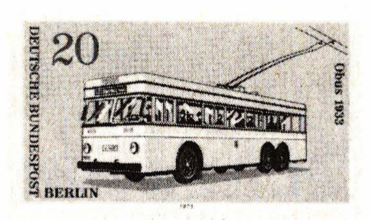


Abb. 84 Eine 1973 von der Landespostdirektion Berlin herausgegebene Sondermarke zeigt einen Berliner Oberleitungsomnibus aus dem Jahre 1933

und der höhere Aufwand für Oberleitungsanlagen führten zum Rückgang. Heute verkehren O–Busse nur noch in Esslingen, Solingen und Kaiserslautern. 1976 betrug die O–Bus–Linienlänge noch 73 km, auf denen 137 Fahrzeuge eingesetzt wurden [19].

Doch diese Entwicklung kann sich durchaus wieder umkehren. Auch heute sind Benzin- und Dieselkraftstoffe wieder teuer und knapp; und es kommt ein ganz neuer Gesichtspunkt hinzu, nämlich die Umweltbelastung durch die Abgase der Verbrennungsmotoren. Darum unterstützt das Bundesministerium für Forschung und Technologie die Entwicklung eines Nahverkehrssystems in Esslingen, das die Abgasbelastung der Luft in den Ballungszentren verringern helfen soll. Es handelt sich um den sogenannten *Duo–Bus,* der innerhalb der Stadt als O–Bus verkehrt und in den Vororten ohne Fahrleitung auf Batteriebetrieb umschaltet.

Oberleitungsomnibusse unterscheiden sich von anderen Bussen grundsätzlich nur dadurch, daß der Dieselmotor durch einen Elektromotor ersetzt ist. Die Energiezufuhr erfolgt über die Fahrleitung (*Abb. 85*). Diese ist notwendigerweise zweipolig, da ja eine Erdung wie bei Straßenbahnen nicht möglich ist. Die Anfahr- und Geschwindigkeitsregelung erfolgt mit einem Fußhebel, der dem Gaspedal der Dieselbusse entspricht. Eine Kupplung ist nicht nötig, da ein Elektromotor auch unter Last anläuft. Die Stromabnehmer sind etwa 6 m lang und bestehen aus dünnwandigem Stahlrohr. Schleifschuhe sorgen für guten elektrischen Kontakt mit den Fahrdrähten. Zum Teil wurden auch Rollenstromabnehmer verwendet. Nach deren englischer Bezeichnung „trolley", werden die Busse auch Trolleybusse



Abb. 85 Ein Mercedes-Gelenkbus auf Testfahrt in Solingen, April 1982

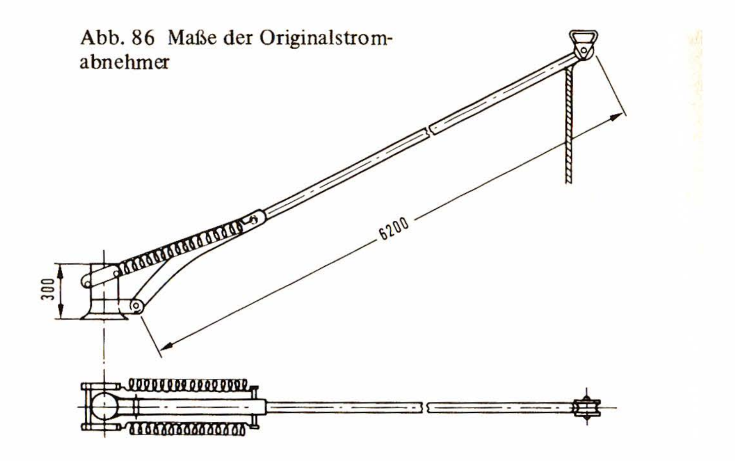


Abb. 86 Maße der Originalstromabnehmer

genannt. Die Stromabnehmerstangen sitzen einzeln drehbar auf einem Sockel und werden durch Federn gegen die Fahrleitungen gedrückt (*Abb. 86*). Die Anpreßkraft beträgt etwa 150 N (≙ 15 kp). Die Fahrleitungen hängen in einer Höhe von 5 m bis 5,5 m. Sie bestehen aus Kupferdraht von 100 mm^2 Querschnitt, ihr Abstand untereinander beträgt 0,5 m.

O-Busse sind beweglicher als Straßenbahnen; sie können Hindernissen ausweichen und an den Gehsteig heranfahren. Der Elektromotor ist geräuscharm und nicht vibrierend, vor allem aber tritt keine Abgasbelastung auf.

8.3 Funktionsprinzip der Fernsteuerung

8.3.1 Funktionsprinzip des Senders

In *Abb. 87* ist das Blockschaltbild des Senders wiedergegeben. Der Motor wird, wie auch bei Gleichstrombahnen üblich, über eine veränderliche Spannung gesteuert. Die Schaltung ist daher so oder ähnlich in vielen transistorisierten Steuerpulten zu finden. Die vom Transformator abgegebene Wechselspannung wird in einer Mittelpunktschaltung gleichgerichtet. Man erhält so zwei

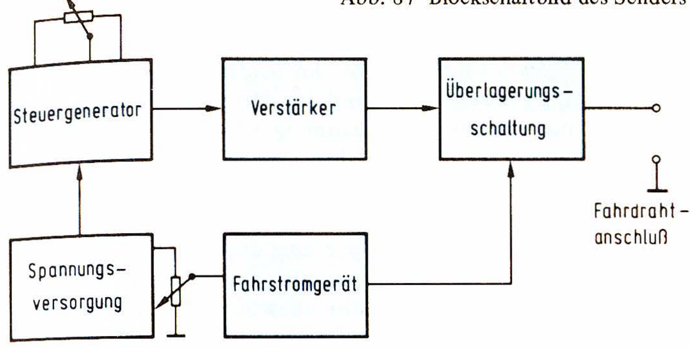


Abb. 87 Blockschaltbild des Senders

pulsierende, erdsymmetrische Ausgangsspannungen. Mit Hilfe eines Spannungsteilers läßt sich eine variable, gegenüber Masse positive oder negative Spannung abgreifen. Die Ausgangsleistung wird mit einem komplementären Emitterfolger verstärkt. Insgesamt ergibt sich eine Einknopfbedienung für Vor- und Rückwärtsfahrt mit fein dosierbarer Geschwindigkeitsregelung.

Der zur Motorsteuerung verwendeten Gleichspannung wird eine Wechselspannung im Tonfrequenzbereich überlagert. Gleich- und Wechselspannung lassen sich im Empfänger leicht voneinander trennen. Die Wechselspannungsquelle liefert Energie und Steuerinformationen für die Lenkung des Fahrzeugs. Wie kann man der Wechselspannung die Steuerbefehle aufprägen? Nun, man moduliert sie. Dazu gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, einige davon sind schon in Kapitel 3.2 besprochen worden. Hier machen wir folgendes: Die Tonfrequenzschwingungen werden von einem astabilen Multivibrator erzeugt. Dieser gibt eine Rechteckspannung ab, deren Impuls-Pause-Verhältnis mit einem Potentiometer einstellbar ist. Dieses Verhältnis ist die Lenkinformation. Kurze Impulse bedeuten z.B. Lenkausschlag nach links; sind Impuls und Pause gleichlang, fährt das Fahrzeug geradeaus; lange Impulse bedeuten Lenkeinschlag nach rechts. Dazwischen liegen alle Übergänge, sodaß eine proportionale Lenkung erzielt wird.

8.3.2 Funktionsprinzip des Empfängers

Abb. 88 zeigt das Blockschaltbild des Empfängers. Die Induktivität der Motorwicklung stellt für die Tonfrequenzwechselspannung einen hohen Widerstand dar. Der Motor wird also wie gewünscht nur von der Gleichspannung, nicht aber von der Wechselspannung beeinflußt. Daher kann er direkt an die Eingangsklemmen geschaltet werden. Die Lenkelektronik muß ihrerseits die Gleichspannung von der Wechselspannung abtrennen und dann aus der Wechselspannung die für den Betrieb des Servoverstärkers nötige Gleichspannung gewinnen. Sie muß weiter das Impuls-Pause-Verhältnis auswerten, und mit diesem Signal den sogenannten Servoverstärker ansteuern. Nur durch eine proportionale Servolenkung erzielt man die für den Fahrbetrieb notwendige Präzision.

Das Blockschaltbild des Servos zeigt *Abb. 89.* Das Steuersignal, in Form einer veränderlichen Gleichspannung, bildet den Sollwert. Von einem an die Lenkmechanik fest angekoppelten Potentiometer wird eine Referenzspannung abgegriffen, die dem jeweiligen Lenkeinschlag proportional ist. Steuerspannung und Referenzspannung werden verglichen, und die sich ergebende Differenz steuert nach Verstärkung den Servomotor in die gewünschte Richtung. Das geht so lange, bis Soll- und Istspan-

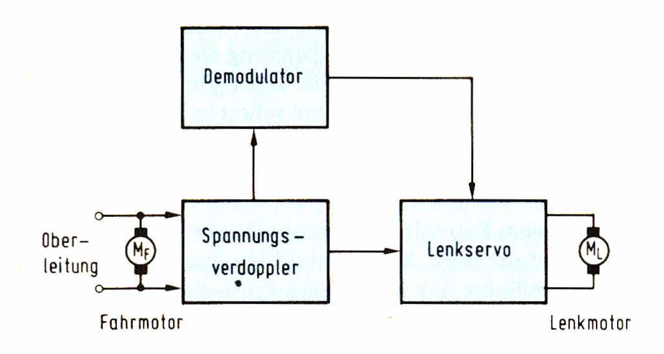


Abb. 88 Blockschaltbild des Empfängers

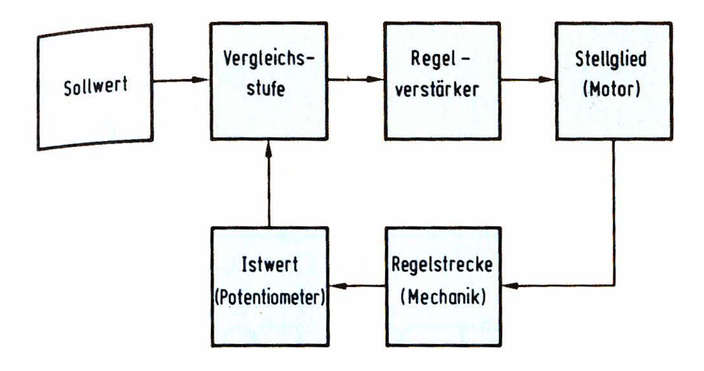


Abb. 89 Blockschaltbild des Servoverstärkers

nung gleich sind, dann bleibt der Motor stehen. Die Stellung der Vorderräder folgt also proportional der Drehung des Lenkrades am Steuergerät.

8.4 Bauanleitung für den Sender

Das Steuergerät besteht aus drei Funktionsgruppen: Fahrspannungsgerät, Steuergenerator und Überlagerungsschaltung. *Abb. 90* zeigt den Gesamtschaltplan, *Tabelle 6* enthält die Stückliste.

8.4.1 Fahrspannungsgerät

Das Gerät wird an Netzspannung betrieben. Auf der Primärseite des Transformators wird ein Ein/Aus-Schalter, eine Sicherung und eine Glimmlampe samt Vorwiderstand benötigt. Die Sicherung schützt den Trafo vor Überlastung im Falle eines Kurzschlusses, die Glimmlampe zeigt die Betriebsbereitschaft des Gerätes an. Der Trafo muß für etwa 30 W Leistung ausgelegt sein. Die Sekundärwicklung gibt 30 V Spannung ab und ist mit einer Mittelanzapfung versehen. Natürlich können auch zwei Sekundärwick-

Abb. 90 Schaltplan des Senders

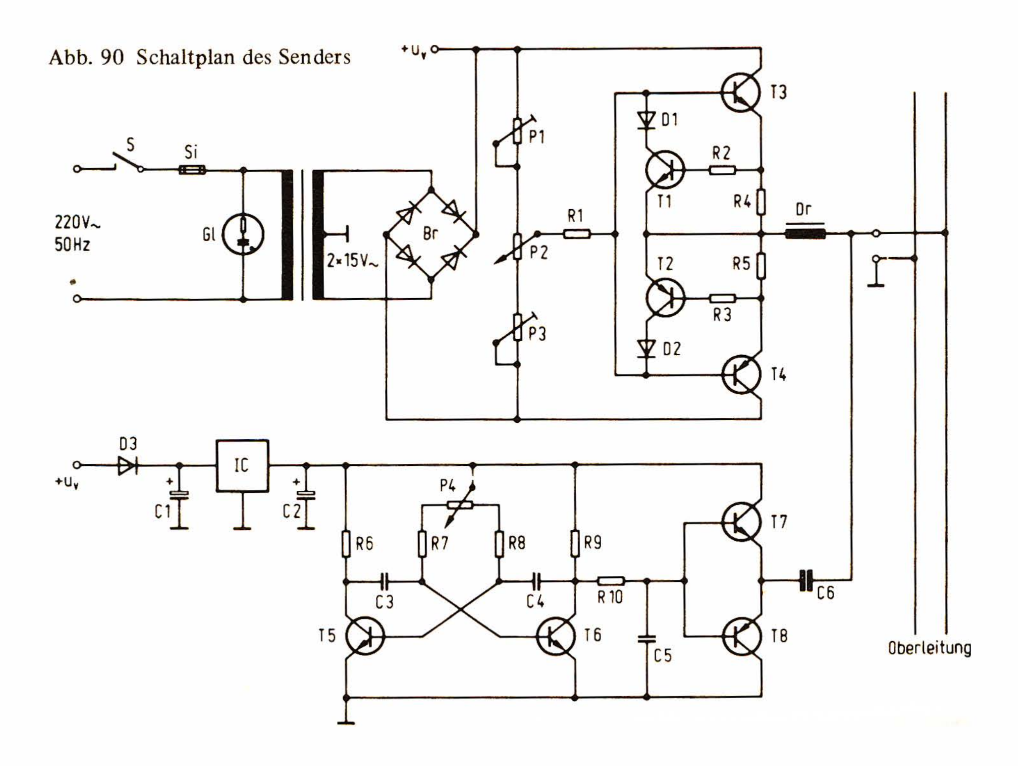


Tabelle 6

Stückliste zu Abb. 90

Widerstände

R1, R6, R9	1 kΩ	
R2, R3	150 Ω	
R4, R5	1 Ω	1/2 W
R7, R8	27 kΩ	
R10	2,2 kΩ	
P1, P3	2,5 kΩ	Trimmpotentiometer
P2	5 kΩ	Drehpotentiometer
P4	22 kΩ	Schiebepotentiometer

Kondensatoren

C1	1000 μF/25 V	Elektrolyt
C2	100 μF/16 V	Elektrolyt
C3, C4	1 nF	
C5	330 pF	
C6	22 μF/25 V	Elektrolyt bipolar

Halbleiter

D1, D2	BA127	Si-Universaldiode
D3	1N 4001	Si-Leistungsdiode
Br	B40 C1000	Brückengleichrichter
T1, T5, T6	BC 547	NPN-Si-Universal-transistor
T2	BC 557	PNP-Si-Universal-transistor
T3, T7	BD 677	NPN-Si-Darlington-leistungstransistor
T4, T8	BD 678	PNP Si-Darlington-leistungstransistor
IC	μA 7812	Spannungsregler

Sonstiges

Tr	Netztransformator, primär 220 V, sekundär 2 x 15 V / 1 A	
Si	Feinsicherung 0,25 A / flink	
Gl	Glimmlampe mit Vorwiderstand	
S	Ein/Aus-Schalter	
Veroboard-Leiterplatte M7		
Siemens-Siferrit Schalenkern		B65541 K0400 A028
Spulenkörper		B65542 A0000 M001
Bügelhalterung		B65543 A0001 X000

lungen mit je 15 V in Reihe geschaltet werden, wobei auf richtige Phasenlage zu achten ist. Die Mittelanzapfung ist die Betriebserde. Für die Gleichrichtung kann ein fertig beschalteter Brückengleichrichter verwendet werden. Man erhält so zwei pulsierende, erdsymmetrische Spannungen. An dem Potentiometer P2 können gegenüber Masse positive und negative Teilspannungen für Vorbzw. Rückwärtsfahrt abgegriffen werden. P1 und P3 bestimmen die Maximalgeschwindigkeiten. Ein komplementärer Emitterfolger T3, T4 sorgt für die erforderliche Ausgangsleistung. Bei positiven Eingangsspannungen leitet T3 und sperrt T4, bei negativen Eingangsspannungen ist es umgekehrt. Die Spannung am Ausgang ist gleich der Spannung am Schleifer von P2, vermindert um die Basis-Emitter-Spannung des jeweils leitenden Transistors. T3 und T4 sind Darlingtontransistoren. Der Antriebsmotor wird mit pulsierender Gleichspannung betrieben. Eine Glättung mit Hilfe eines Ladekondensators wäre dem Drehmomentverlauf des Motors nur abträglich.

Die Transistoren T1 und T2 bewirken eine elektronische Strombegrenzung. Sie verhindern eine Zerstörung der Ausgangstransistoren im Kurzschlußfall. Der Ausgangsstrom erzeugt an R4 (R5) einen Spannungsabfall. Überschreitet dieser einen Wert von etwa 0,5 V, so wird der Transistor T1 (T2) leitend und entzieht T3 (T4) den Basisstrom. Durch diese Regelung wird der Ausgangsstrom auf

$$I_{max} = \frac{0{,}5\ V}{R4} = \frac{0{,}5\ V}{R5} = 0{,}5\ A$$

begrenzt. Die Widerstände R2 und R3 schützen T1 bzw. T2 vor zu hohen Basisstromspitzen. Die Dioden D1 und D2 verhindern, daß die Kollektor-Basis-Dioden der Strombegrenzungstransistoren leitend werden, wenn der zugehörige Ausgangstransistor gesperrt ist.

Die Verlustleistung der Ausgangstransistoren ist im Kurzschlußfall erheblich höher als im Normalbetrieb. Es fließt dann der maximale Strom I_{max}, während die Ausgangsspannung null ist, d.h. die gesamte Betriebsspannung fällt am Transistor ab. Daher sind T3 und T4 an einem Kühlblech von etwa 50 cm^2 Fläche zu befestigen.

8.4.2 Steuergenerator

Der Steuergenerator wird mit einer stabilisierten Gleichspannung betrieben. Sie wird aus der positiven, pulsierenden Gleichspannung des Fahrspannungsgerätes gewonnen. Die Diode D3 lädt den Kondensator C1 auf die Scheitelspannung auf. Der integrierte Spannungsregler IC1 gibt eine stabilisierte Ausgangsspannung von 12 V ab. Er ist mit einer Strombegrenzung ausgerüstet, so daß im Steuergerät keine weiteren Maßnahmen zur Kurzschlußsicherung erforderlich sind.

Der astabile Multivibrator mit T5 und T6 erzeugt die Wechselspannung (*Abb. 91*). Ihr Impuls-Pause-Verhältnis ist mit P4 einstellbar. Steht der Schleifer in der Mitte, so gilt:

$$t_1 = 0{,}7\,(R7 + 0{,}5\ P4)\ C3$$
$$t_2 = 0{,}7\,(R8 + 0{,}5\ P4)\ C4$$
$$T = t_1 + t_2$$

Setzt man die Werte der Bauteile ein, so ergibt sich T = 53,3 µs, was einer Frequenz f = 1/T = 18,8 kHz entspricht. Durch Verstellen des Potentiometers läßt sich das Impuls-Pause-Verhältnis von 1,8 : 1 bis 1 : 1,8 verändern. Die Frequenz bleibt dabei kon-

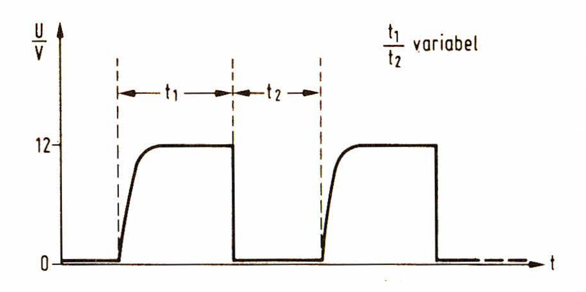


Abb. 91 Signal am Ausgang des astabilen Multivibrators

stant, da die Pause umso kleiner wird, je breiter der Impuls ist und umgekehrt.

Um Funkstörungen zu vermeiden, werden die Impulse in einem Tiefpaß R10, C5 weiter verrundet. Anschließend werden sie in einem komplementären Emitterfolger verstärkt. T7 und T8 sind wieder Darlingtontransistoren. Sie werden ebenso wie der Festspannungsregler mit Kühlblechen versehen.

8.4.3 Überlagerungsschaltung

Die Wechselspannung muß nun noch der Fahrspannung überlagert werden. Dazu dürfen die entsprechenden Ausgangsklemmen nicht einfach parallel geschaltet werden, da sich die beiden Spannungsquellen gegenseitig zu stark belasten würden. Ihre Entkopplung besorgen C6 und Dr. Der Kondensator blockt auf Grund seines kapazitiven Widerstandes R_C die Fahrgleichspannung vom Wechselspannungsverstärker ab, während die Drossel einen hohen induktiven Widerstand R_L für Tonfrequenzen hat.
Es gilt:

$$R_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (2)$$

$$R_C = 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C6 \quad (3)$$

C6 wird mit 20 μF bemessen. Er stellt damit für die Frequenz

von 18,8 kHz einen Widerstand von 0,4 Ω dar, während sein Gleichstromwiderstand nahezu unendlich ist. Die Induktivität der Drossel beträgt L = 1 mH. Ihr Gleichstromwiderstand beträgt weniger als 1 Ω; ihr Widerstand gegenüber der Tonfrequenz errechnet sich zu 118 Ω. Wir wählen einen Siemens Siferrit Schalenkern 14 ∅ x 8 mm, A_L 400, mit Luftspalt. Dieser sorgt dafür, daß die Drossel nicht durch den überlagerten Gleichstrom in die Sättigung getrieben wird. Die Induktivität einer Drosselspule errechnet sich nach der Formel:

$$L = A_L\, w^2 \qquad (L/\mathrm{nH},\ A_L/\frac{\mathrm{nH}}{\mathrm{Wdg}^2},\ w/\mathrm{Wdg})$$

Die erforderliche Windungszahl w ergibt sich damit zu:

$$w = \sqrt{L/A_L}$$

Um die Induktivität 1 mH zu erzielen, sind 50 Windungen auf den Schalenkern aufzubringen. Wir verwenden 0,5 mm starken Kupferlackdraht.

C6 ist ein bipolarer Elektrolytkondensator. Ist ein solcher Typ nicht zu beschaffen, so können auch zwei normale Elkos der doppelten Kapazität gemäß *Abb. 92* in Reihe geschaltet werden.

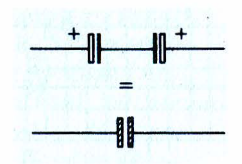


Abb. 92 Ersatzschaltung für einen bipolaren Elektrolytkondensator

8.4.4 Mechanischer Aufbau des Senders

Die Elektronik läßt sich am schnellsten auf einer Veroboard-Platine aufbauen. Über den Umgang mit diesen Platinen ist gegebenenfalls noch einmal in Kapitel 5 nachzulesen. *Abb. 93a* zeigt den Bestückungsplan, *Abb. 93b* eine fertig aufgebaute Schaltung.

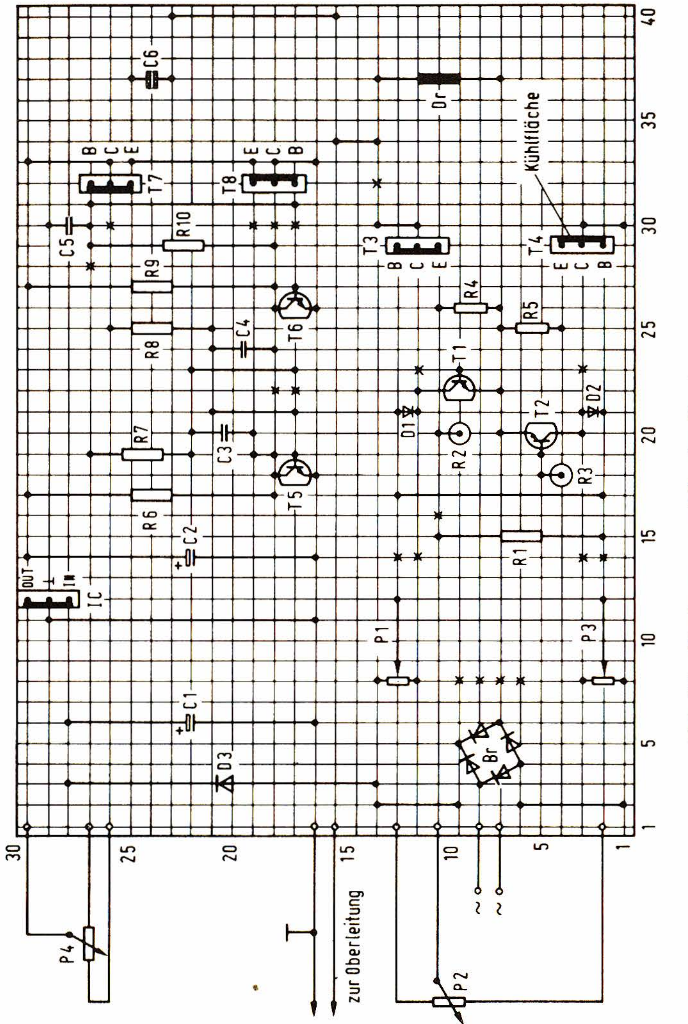


Abb. 93a Platinenentwurf für den Sender

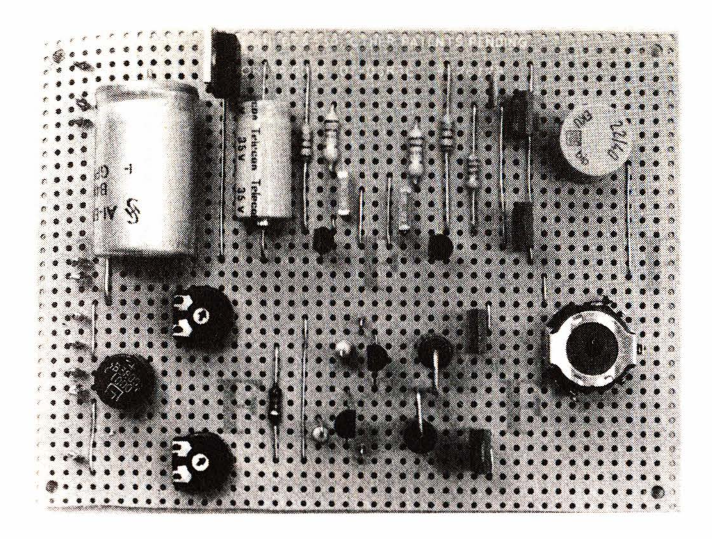


Abb. 93b Bestückte Senderplatine, noch ohne Kühlkörper

Trafo und Steuerplatine finden in einem Metallgehäuse 20 cm x 15 cm x 8 cm (L x B x H) Platz (*Abb. 94*). Für den 220-V-Netzanschluß wurde eine Gerätesteckdose verwendet. Es ist auf eine gute elektrische Verbindung des Schutzleiteranschlusses mit dem Gehäuse zu achten. Die Rückwand des Gerätes nimmt außerdem den Sicherungshalter auf. Die Vorderwand erhält Bohrungen für den Ein/Aus-Schalter, die Glimmlampe, die Ausgangsbuchsen und für eine sechspolige Buchse, an die der Handregler angeschlossen wird. Auch an dieser Stelle sei auf die Gefahren hingewiesen, die der Umgang mit Netzspannung in sich birgt.

Die Konstruktion des Handreglers geht aus *Abb. 95* hervor. Für die Geschwindigkeitsregelung wird ein Schiebepotentiometer eingesetzt, für die Lenkung ein Drehpotentiometer. Diese Anordnung kommt dem Vorbild näher als ein Kreuzknüppelaggregat, wie es bei Funkfernsteueranlagen üblich ist.

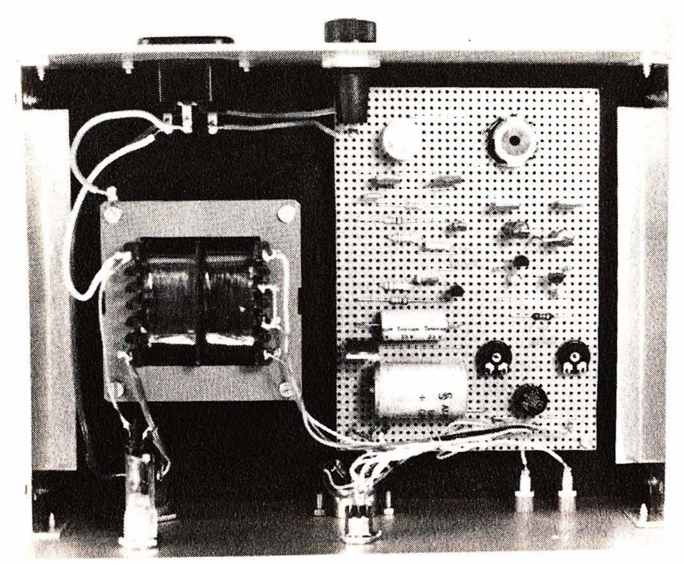
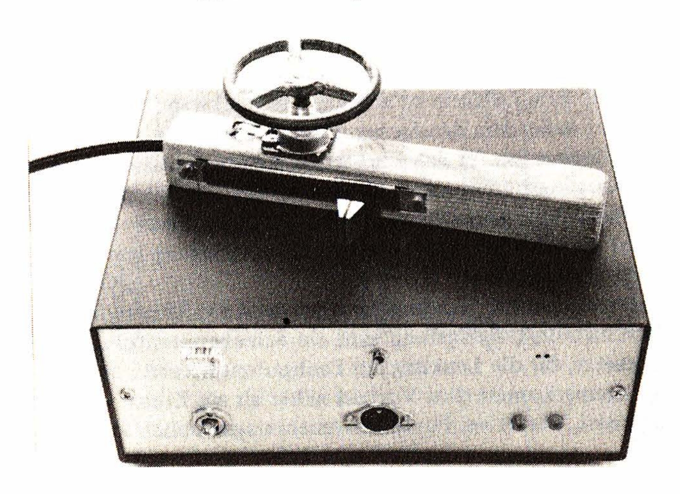


Abb. 94 Innenansicht des Senders

Abb. 95 Sendergehäuse und Handregler



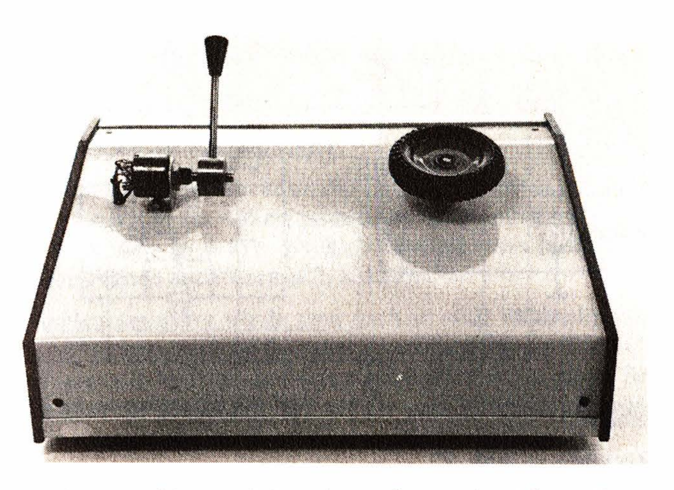


Abb. 96 Senderausführung mit integriertem Steuerrad und festen Gängen

Der Handregler gestattet ein Verfolgen des Fahrzeugs auf der Anlage. Besonders bei ausgedehnten Fahrstrecken wird dadurch das Lenken erleichtert. Kann die gesamte Fahrstrecke vom Steuergerät aus gut überblickt werden, ist auch eine Senderausführung nach *Abb. 96* brauchbar. Hier ist das Lenkpotentiometer am Gehäuse befestigt. Die Einstellung der Fahrgeschwindigkeit erfolgt nicht über ein Potentiometer, sondern es werden mit Hilfe eines fünfstufigen Schalters verschiedene Festspannungen von einer Widerstandskette abgegriffen. Man erhält so drei Vorwärtsgänge plus Parkstellung und einen Rückwärtsgang.

8.5 Bauanleitung Empfänger

Abb. 97 zeigt den Schaltplan des Empfängers. Obwohl er nur wenige Bauelemente enthält, siehe Stückliste *Tabelle 7*, ist es doch sinnvoll, auch diese Schaltung in Funktionsgruppen zu gliedern.

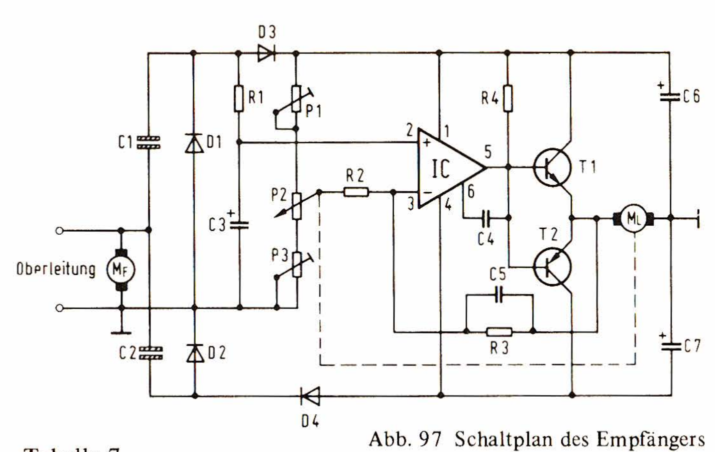


Abb. 97 Schaltplan des Empfängers

Tabelle 7

Stückliste zu Abb. 97

Widerstände

R1, R4	1 kΩ	
R2	100 kΩ	
R3	470 kΩ	
P1, P3	5 kΩ	Trimmpotentiometer
P2	5 kΩ	Trimmpotentiometer im Servo

Kondensatoren

C1, C2	5 μF/25 V	Elektrolyt bipolar
C3	0,1 μF/16 V	Tantal
C4	47 nF	
C5	2,7 nF	
C6, C7	10 μF/16 V	Tantal

Halbleiter

D1, D2, D3, D4	1N 4001	Si-Leistungsdiode
T1	BC 547	wahlweise BC 337
T2	BC 557	wahlweise BC 327
IC	TAA 861	Operationsverstärker

Sonstiges

Veroboard-Leiterplatte; 10 Reihen x 26 Löcher; 2,5 mm Rastermaß

8.5.1 Anschluß des Fahrmotors

Der Fahrmotor M_F ist direkt an die Eingangsklemmen geschaltet. Die Wicklungen seines Ankers bilden eine hohe Induktivität L und damit für die 18,8-kHz-Wechselspannung einen großen Widerstand (siehe auch Formel 2, S. 128).

Der Gleichstrommotor würde zwar auch an einer Wechselspannung mit Netzfrequenz nicht laufen, aber er würde doch die Wechselspannungsquelle belasten und sich stark erwärmen. In dieser Schaltung reagiert der Motor also nur auf die vom Steuerpult abgegebene Gleichspannung.

8.5.2 Spannungsverdoppler und Mittelwertbildner

Am Eingang der Lenkelektronik finden sich zwei symmetrische Spannungsverdoppler in *Villard*-Schaltung, ihre Funktion soll an einem Schaltungsteil erklärt werden (*Abb. 98*). Zunächst sieht man, daß Gleichspannungen durch den Kondensator C1 völlig abgeblockt werden. Im Gegensatz zu den Induktivitäten, lassen Kondensatoren keinen Gleichstrom passieren. Ihr Widerstand wird aber umso kleiner, je höher die Frequenz einer angelegten Spannung ist (Formel 3, S.128). Wir können uns also ganz auf die 18,8-kHz-Wechselspannung konzentrieren.

Während der negativen Halbwelle wird der Kondensator C1 über die Diode D1 auf die Scheitelspannung U_S aufgeladen. Durch die in C1 gespeicherte Ladung wird eine Verschiebung des Grundniveaus bewirkt. C1 wirkt wie eine Spannungsquelle mit der Spannung $U_C = Q/C$. Springt die Eingangsspannung von $-U_S$ auf $+U_S$, so springt die Spannung U_{a1} von 0 V auf $+2U_S$. Fällt die Eingangsspannung von $+U_S$ auf $-U_S$ zurück, so fällt auch die Spannung U_{a1} von $+2U_S$ auf 0 V zurück, d.h.: $U_{a1} = U_e + U_C$. Die Diode D3 lädt den Kondensator C6 auf auf den Scheitelwert von U_{a1} auf.

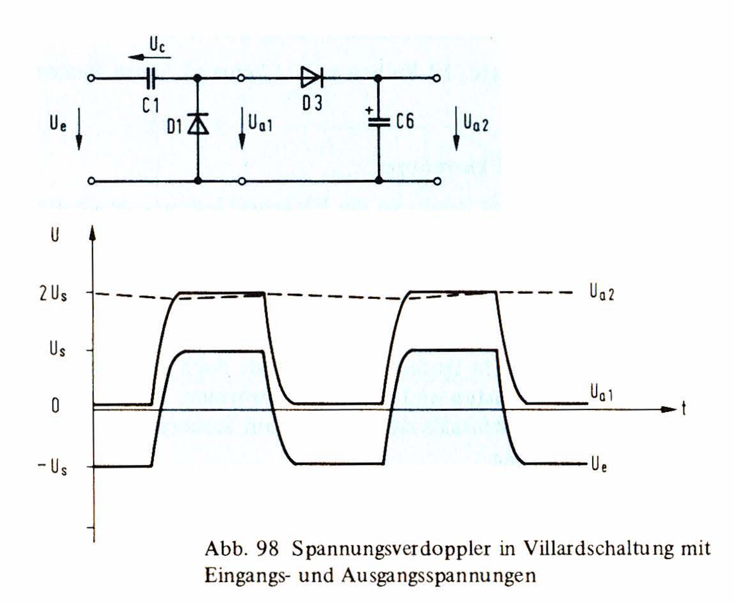


Abb. 98 Spannungsverdoppler in Villardschaltung mit Eingangs- und Ausgangsspannungen

Abb. 99 Mittelwertbildner. Die Steuerspannung ist abhängig vom Impuls-Pause-Verhältnis

Der Kondensator C6 ist für die Restbrummspannung, C1 für den Spannungsabfall bei Belastung bestimmend. Die gleichen Überlegungen gelten für den aus D2, D4 und C2, C7 gebildeten Schaltungsteil. Im Empfänger stehen also zwei symmetrische Gleichspannungen zur Verfügung.

Nach dieser ausführlichen Erörterung der Villard-Schaltung ist es leicht, die Gewinnung des Steuersignals aus der Eingangsspannung zu verstehen. Mit Hilfe eines RC-Gliedes (R1, C3) bilden wir den Mittelwert des Spannungsverlaufs U_{a1} an der Kathode von D1. Dieser Mittelwert ist proportional zum Impuls-Pause-Verhältnis, d.h. bei langen Impulsen haben wir eine hohe Steuerspannung, bei kurzen eine entsprechend niedrigere (*Abb. 99*).

8.5.3 Servoverstärker

Der Servoverstärker wird mit dem integrierten Operationsverstärker TAA 861 aufgebaut. Operationsverstärker sind gleichspannungsgekoppelte Differenzverstärker mit hoher Spannungsverstärkung, hohem Eingangswiderstand und niedrigem Ausgangswiderstand. Seine Eigenschaften können durch äußere Bauelemente programmiert werden (*Abb. 100*). Mit- und Gegen-

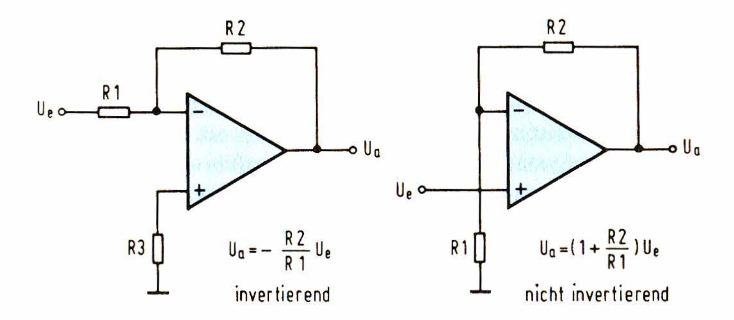


Abb. 100 Operationsverstärker in invertierender und in nichtinvertierender Schaltung

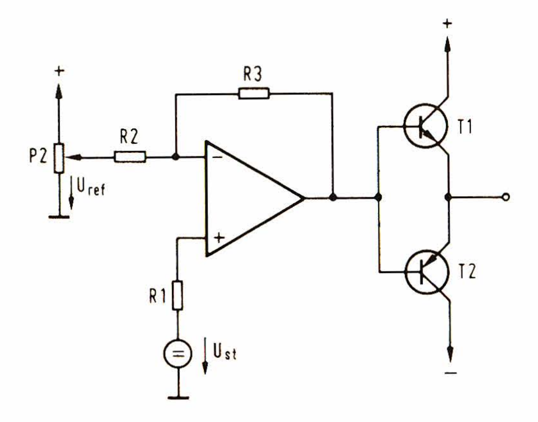


Abb. 101 Spannungskomparator mit Schaltverstärker

kopplungsschaltungen sind einfach auszuführen, da sie einen invertierenden und einen nichtinvertierenden Eingang haben.

Im Servoverstärker wird der Operationsverstärker als Spannungskomparator eingesetzt (*Abb. 101*). Die Referenzspannung U_{ref} wird am Servopotentiometer abgegriffen und dem invertierenden Eingang zugeführt. Die Steuerspannung U_{st} liegt am nichtinvertierenden Eingang. Wenn $U_{st} > U_{ref}$, ist der Ausgang des TAA 861 positiv, so daß T1 durchschaltet. Ist $U_{st} < U_{ref}$, so wird der Ausgang negativ, so daß T2 durchschaltet. Sind die Spannungen gleich, so sperren beide Transistoren.

In der praktisch ausgeführten Servoelektronik ist der Gegenkopplungswiderstand R3 an den Ausgang geführt, da sonst die Basis-Emitter-Spannungen der Transistoren T1 und T2 eine unerwünschte Totzone verursachen. R3 ist so bemessen, daß der gewünschte Lenkausschlag schnellstmöglich, aber noch ohne Überschwingen erreicht wird. Die Kondensatoren C4 und C5 sorgen für die Schwingsicherheit der Schaltung. Mit den Potentiometern P1 und P3 wird die Mittenstellung des Servos und der maximale Lenkausschlag justiert.

8.5.4 Umbau eines *Brawa*-Busses

Abb. 102a zeigt den Platinenentwurf der Empfängerschaltung für einen *Brawa*-Bus, *Abb. 102b* den fertigen Baustein. Bei der Funktionsüberprüfung der Schaltung sind unbedingt die Hinweise aus Kapitel 8.6 zu beachten.

Man kann den Bus auch im Eigenbau erstellen, wobei man auf das eine oder andere Fertigteil wie Karosserie, Räder oder Antriebsaggregat zurückgreifen kann. Sehr viel einfacher ist es jedoch, vom Trolley-Bus-System der Firma *Brawa* auszugehen. Außer ein paar einfachen Anpassungsarbeiten fällt dann nur der Bau des Lenkservos an. Alle benötigten Teile sind in *Tabelle 8* aufgeführt.

Tabelle 8

Stückliste Oberleitungsomnibus

Trolley-Bus	Nr. 6100	*Brawa*
Gelenkbus	Nr. 6104	*Brawa*
Fahrleitung, diverses Zubehör		*Brawa*
Gummireifen		*Faller*
Motor Micro T05 4,8 V (Ersatzteil zum Servo Micro C05)	Nr. 3833/10	*Graupner*
Getriebe 1 : 141	Nr. 1726/141	*Graupner*

Brawa bietet einen Zweiachser sowie einen Gelenkbus an. Während der erste für die HO-Bahn ein wenig groß geraten ist, ist der Gelenkbus eine exakte 1 : 87-Nachbildung eines *Henschel*. Die Reifen sollte man jedoch durch etwas kleinere aus dem *Faller*-Programm ersetzen. Der Gelenkbus bietet einen noch interessanteren Fahrbetrieb, und da er zudem noch mehr Platz für die Zusatzeinbauten bietet, ist er für den Nachbau eher zu empfehlen.

Die Antriebseinheit, bestehend aus Motor, Getriebe und Achse, bleibt unverändert bestehen. Auch die lenkbare Vorderachse kann so wie sie ist übernommen werden. Damit entfällt die bei einem kompletten Selbstbau sicherlich schwierigste Arbeit. Der Stromabnehmer wird vollständig ausgebaut. Alle

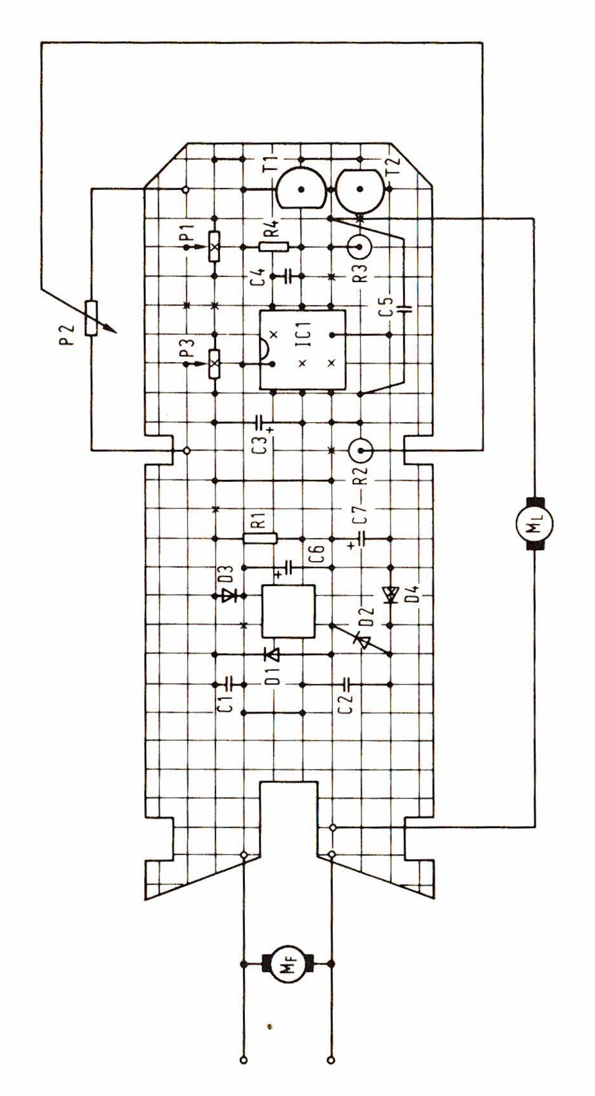


Abb. 102a Platinenentwurf für den Empfänger

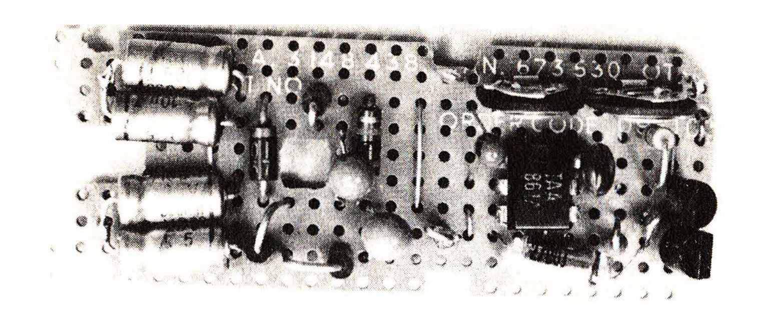
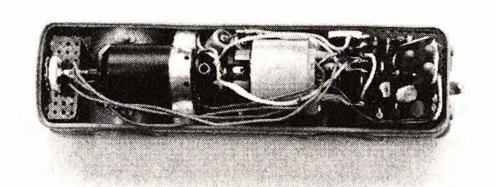


Abb. 102b Bestückte Empfängerplatine

Elemente, die zur Übertragung der Lenkbewegung vom Fahrdraht auf die Spurstange der Vorderachse dienen, werden nicht mehr benötigt, wohl aber der Stromabnehmer selbst; er wird vorerst beiseite gelegt. Die Beleuchtungseinrichtung muß samt Lichtleiter ausgebaut werden. Die vordersten Enden des Lichtleiters werden abgesägt und in die Scheinwerferöffnungen geklebt. In den Vorderwagen kann nun das Lenkservo eingebaut werden, die zugehörige Elektronik findet im Nachläufer Platz (*Abb. 103*).

Das Lenkservo besteht aus dem Motor Micro T 05, 4,8 V von *Graupner* und einem zugehörigen Getriebe 1 : 141. Der Motor bewegt über ein Ritzel eine Zahnstange, die in einer Nut der Grundplatte läuft. Von der Getriebeachse wird gleichzeitig das Potentiometer gestellt, das die augenblickliche Lenkstellung erfaßt. Zahnstange und Ritzel haben den Modul 0,5, das Ritzel hat 12 Zähne (*Abb. 104*). Das Servo kann am Karosserieunterteil festgeschraubt oder eingeklebt werden. Eventuell muß etwas Material von den Radkästen entfernt werden. Die Bewegung der Spurstange darf nicht behindert werden. Die Bewegung der Zahnstange wird mit einem einfachen Drahtbügel auf die Spurstange übertragen. Am unteren Ende des Drahtbügels wird eine kleine



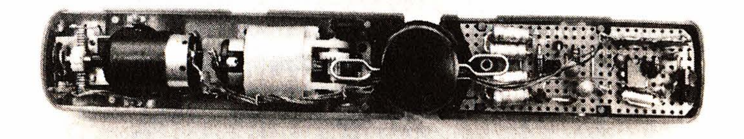


Abb. 103 Der Gelenkbus bietet reichlich Platz für den Einbau des Empfängers

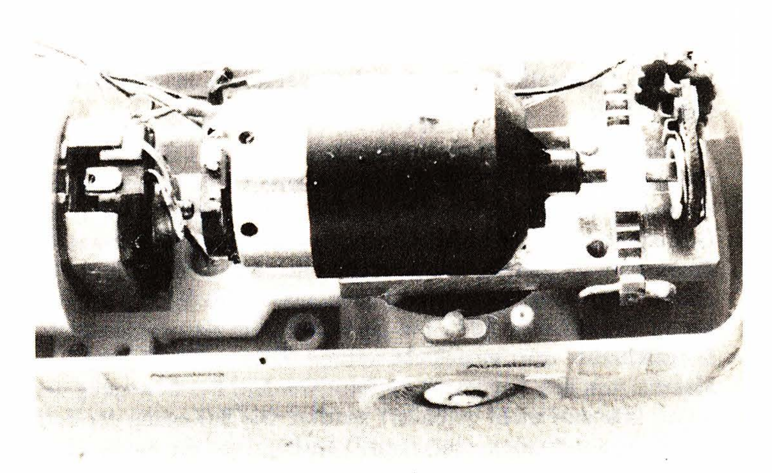
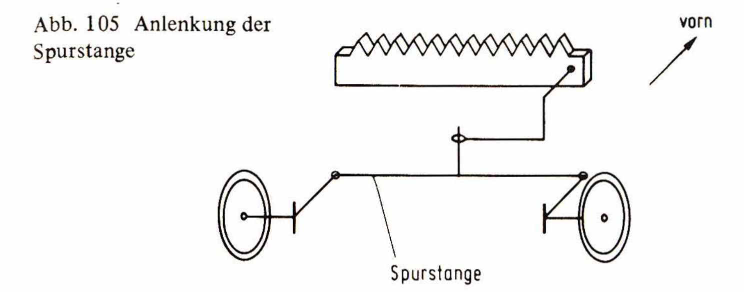


Abb. 104 Lenkservo

Abb. 105 Anlenkung der Spurstange



Öse gebogen, die über den Dorn auf der Spurstange geschoben wird (*Abb. 105*).

Nun bleibt noch der Umbau des Stromabnehmers. Der Stromabnehmerblock aus weißem Plastikmaterial wird an der Unterseite gerade geschnitten, so daß er möglichst flach auf dem Wagendach aufliegen kann (*Abb. 106*). Die Stromabnehmerstangen werden mit Hilfe von Messingröhrchen (Innendurchmesser 1 mm) auf etwa 7 cm verlängert. Die Schleifschuhe werden mit einer Feile nachbehandelt. Eine Verrundung aller Innenkanten verhindert, daß er an den Verbindungsstellen der Fahrleitungsdrähte hängen bleiben kann. Ein kleines Röhrchen, das in das Chassis des Nachläufers geklebt wird, nimmt die Achse des Stromabnehmers auf, so daß er frei nach beiden Seiten schwenken kann. Das Nachläuferoberteil erhält außer der Bohrung für die Stromabnehmerachse noch eine zweite zur Durchführung der Anschlußdrähte. Diese werden an den Enden verzinnt und an die Stromabnehmerstangen gelötet.

Der sehr leichte Nachläufer wird bei seitlich ausgeschwenkten Stromabnehmerstangen durch die Kraft der Spannfedern gekippt. Man kann dem abhelfen, indem man etwa 50 g Bleiballast in den freien Raum unter der Platine klebt. Dieser muß allerdings vor der Achse des Nachläufers angebracht werden, um gleichzeitig die Antriebsachse des Vorderwagens zu belasten. Man muß sich klarmachen, daß die Wirkungslinie der Kraft, die von der Fahrleitung über die Stromabnehmerstangen auf den

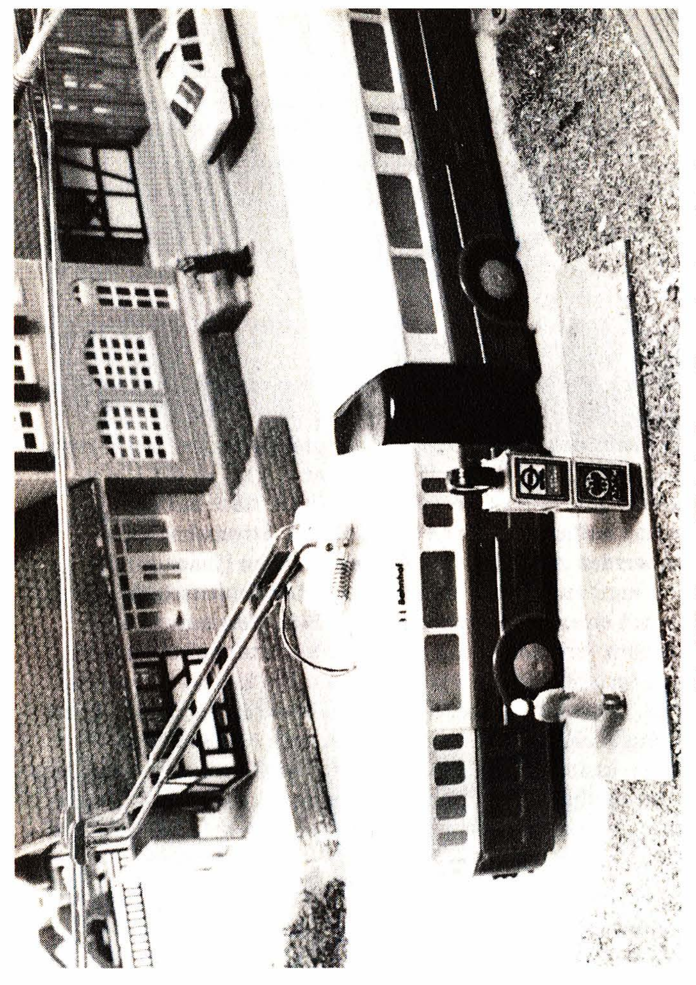


Abb. 106 Der modifizierte *Brawa*-Stromabnehmer ist wie beim Original auf dem Nachläufer angebracht

Wagen übertragen wird, von den Schleifschuhen aus senkrecht nach unten verläuft und deshalb das Fahrzeugheck auf den Boden drücken möchte. Durch Hebelwirkung wird dadurch die Antriebsachse des Vorderwagens entlastet, was besonders an Steigungen zum Durchdrehen der Antriebsräder führen kann. Auch im Motorwagen und im Faltenbalg ist noch Platz für Bleigewichte, so daß ein Durchdrehen sicher verhindert werden kann.

Wer sich an einen Eigenbau heranwagt, könnte als Vorbild auch den in Kapitel 8.2 angesprochenen Duo-Bus wählen. Man erhält damit ein sehr modernes Nahverkehrssystem. Der Duo-Bus entstand aus einem *Mercedes*-Standardbus, der als HO–Modell von *Wiking* zu beziehen ist. Das Antriebsaggregat kann einem *Faller*-Lkw-Modell entnommen werden.

Das Fahrverhalten des Busses ließe sich noch verbessern, wenn der Antriebsmotor mit einer Schwungscheibe ausgerüstet werden könnte. Damit ließe sich ein weicheres Anfahren und Abbremsen erzielen. Auch Kontaktunterbrechungen, hervorgerufen durch Verschmutzung oder Korrosion der Fahrdrähte, würden sich dann kaum auswirken, da die Busse diese Stellen mit Schwung überfahren würden.

Die Busse lassen sich gut mit einer Dauerbeleuchtung ausrüsten. Hierfür bieten sich wegen des geringen Strombedarfs Leuchtdioden an. Für die Scheinwerfer kommen z.B. gelbe Leuchtdioden von 3 mm Durchmesser infrage, deren Kuppen noch etwas flachgeschliffen werden. Man schaltet sie in Reihe

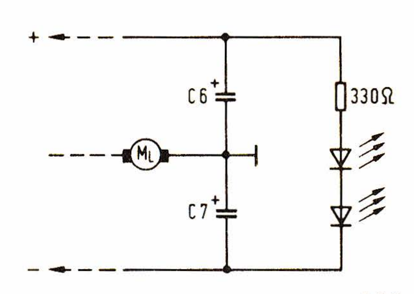


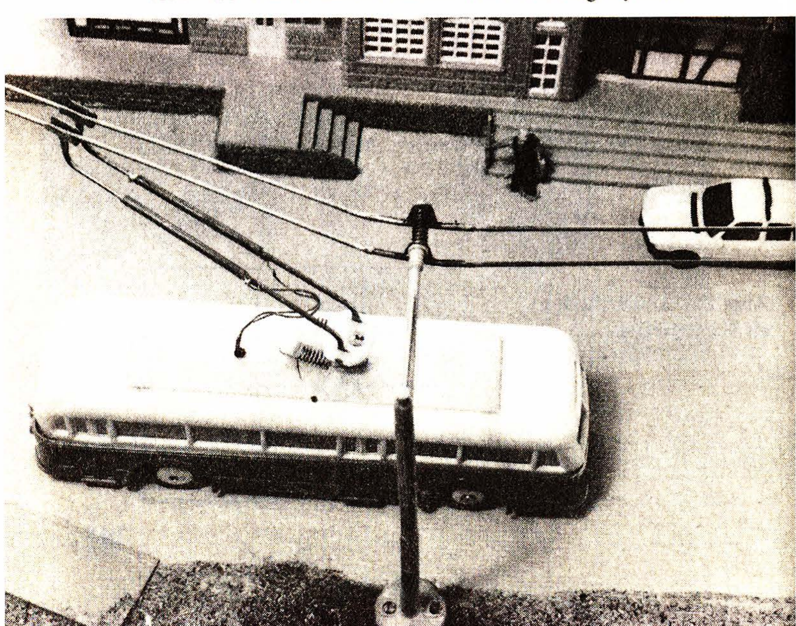
Abb. 107 Leuchtdioden als Scheinwerfer

mit einem Strombegrenzungswiderstand an die Servostromversorgung (*Abb. 107*).

Auch für die Fahrleitungen ist das Zubehör von *Brawa* zu empfehlen (*Abb. 108*). Die Streckenmasten sind ansprechend und betriebssicher. Die Fahrleitungen werden einfach in Hülsen gesteckt. Für eine stationäre Anlage ist es jedoch besser, die Verbindungsstellen zu verlöten und glatt zu schmirgeln. Damit ist es ausgeschlossen, daß sich die Schleifschuhe an den Hülsen verhaken. Damit keine Kontaktunterbrechungen auftreten, müssen die Fahrdrähte sauber gehalten werden. Es reicht, wenn die Drähte nach längeren Betriebspausen leicht übergeschmirgelt werden. Bei häufigem Betrieb ist keine Reinigung erforderlich.

Die Firma *Brawa* bietet für ihr System auch Weichen, Kreuzungen und Sets für Bahnübergänge bei Oberleitungsbetrieb an. Die Weichen sind allerdings recht klobig; geschickte Bastler könnten hierfür sicherlich naturgetreuere Lösungen finden.

Abb. 108 Anschlußmast des *Brawa*-Fahrleitungs-Systems



8.6 Inbetriebnahme der Anlage

Der Anschluß der Oberleitungsdrähte erfolgt am besten nach der Norm, die für Gleichstrombahnen gilt. Demnach wird die in Fahrtrichtung linke Fahrleitung mit dem Masseanschluß verbunden. Das Schiebepotentiometer ist so zu verdrahten, daß die rechte Fahrleitung positive Spannung führt, wenn der Abgriff nach vorn geschoben wird. Nun wird der Fahrmotor angeschlossen. Der Bus soll jetzt vorwärts fahren. Fährt er dagegen rückwärts, so sind die Motoranschlüsse zu vertauschen. Mit den Trimmpotentiometern P1 und P3 im Sender (Abb. 93a) können die gewünschten Höchstgeschwindigkeiten für Vor- und Rückwärtsfahrt festgelegt werden.

Beim Anschluß des Servos an die Empfängerelektronik muß der richtige Drehsinn des Servomotors herausgefunden werden. Man lötet dazu zunächst das Referenzpotentiometer P2 (Abb. 102a) ein und lötet einen Motoranschluß an. Das Lenkpotentiometer im Handregler wird in Mittenstellung gebracht. Stellt man nun kurzzeitig – durch Antippen – die elektrische Verbindung zum anderen Pol des Motors her, so sieht man, ob das Servo in Mittenstellung läuft. Ist das der Fall, so kann der noch fehlende Anschluß angelötet werden. Läuft das Servo jedoch zu einem Anschlag, so muß der Motor anders herum gepolt werden. Der Getriebemotor entwickelt eine solche Kraft, daß das Servo zerstört werden kann, wenn man hier nicht vorsichtig zu Werke geht.

Sollten die Vorderräder bei Linkseinschlag des Steuerrades nach rechts einschlagen, so sind die beiden äußeren Anschlüsse des Lenkpotentiometers zu vertauschen. Mit den Trimmpotentiometern P1 und P3 des Empfängers wird das Servo auf Mitte gestellt, während das Steuerrad auf Mitte steht. Außerdem wird der maximale Lenkeinschlag begrenzt; die Zahnstange darf nicht gegen die Karosserie stoßen.

Wird der Bus auf der Fahrbahn gedreht, müssen die Anschlüsse der Oberleitung vertauscht werden, sonst würden beide Steuerfunktionen gegensinnig ablaufen. Im Mustergerät ist zu diesem Zweck ein Umpolschalter vorhanden.

Literaturverzeichnis

[1] Albrecht, G.E.R.: Viele Züge auf einer Anlage.
Alba Buchverlag, Düsseldorf 1975.

[2] Tietze, U.; Schenk, C.: Halbleiterschaltungstechnik.
Springer-Verlag, Berlin 1976.

[3] Knobloch, W.: Modelleisenbahnen elektronisch gesteuert.
Band 3, Richard Pflaum Verlag KG, München 1975.

[4] Jungmann, H.: Modelleisenbahn-Elektronik im Selbstbau.
RPB 341, Franzis-Verlag GmbH, München 1980.

[5] Christoffers, D.: Modell-Autorennbahn elektronisch gesteuert.
RPB 309, Franzis-Verlag GmbH, München 1978.

[6] Oberhänsli, L.: Fernsteuerung von Modellbahnen.
Der Elektroniker, 1967, Heft 5, Seite 273,
1969, Heft 5, Seite 246, 1970, Heft 1, Seite 43,
1970, Heft 2, Seite 95.

[7] Mehrzugsteuerung für die Modellbahn.
Modellbahn-Elektronik, 1976, Heft 1, Seite 22,
1976, Heft 3, Seite 22, 1976, Heft 4, Seite 25,
1977, Heft 2, Seite 26, 1977, Heft 3, Seite 20.

[8] Schiersching, F.: Fernsteuern mit Infrarot.
Telekosmos-Verlag Franckh'sche Verlagshandlung,
Stuttgart 1978.

[9] Gutierrez, K.: The CTC-16: A command control system you can build.
Model Railroder, 1979, Heft 12, Seite 64,
1980, Heft 1, Seite 86, 1980, Heft 2, Seite 89,
1980, Heft 3, Seite 89, 1980, Heft 4, Seite 71.

[10] Siggemann, H.: PCM-Funkfernsteuerung für Flug- und Schiffsmodelle.
Funkschau, 1978, Heft 3, Seite 117,
1978, Heft 4, Seite 86.

[11] Diekmann, P.: Steuerung einer Modelleisenbahn über eine Ringleitung.
Funkschau, 1979, Heft 3, Seite 93.
[12] Sperandeo, A.: Hornby Hobbies.
Model Railroder, 1980, Heft 10, Seite 114.
[13] Sperandeo, A.: Command control comparison.
Model Railroder, 1980, Heft 4, Seite 90.
[14] Bruß, H.: Schaltungen für die Modellfernsteuerung.
RPB 93, Franzis-Verlag GmbH, München 1977.
[15] Heller, B.: Fernsteueranlagen im Selbstbau.
Franzis-Verlag GmbH, München 1980.
[16] Nührmann, D.: Der Hobby-Elektroniker ätzt seine Platinen selbst.
RPB 56, Franzis-Verlag GmbH, München 1981.
[17] Albrecht, G.E.R.: Modellbahn Automatik + Elektronik.
Alba Buchverlag, Düsseldorf 1972.
[18] Knobloch, W.: Modelleisenbahnen elektronisch gesteuert.
Band 1, Richard Pflaum Verlag KG, München 1973.
[19] Hartmann, H.; Reichardt, H.D.; Waltking, D.:
Autobusse im Linienverkehr.
Alba Buchverlag, Düsseldorf 1978.

Sachverzeichnis

A

A_L-Wert 129
Amplitudenmodulation 39
Analog-Digital-Wandler 33, 50
—-multiplexer 31
—-schalter 31
Astabiler Multivibrator 26, 127
Astrac-Mehrzugsteuerung 43

B

Binärschaltung 21
Bistabiler Multivibrator 25
Bit 49
Blocksicherung 112
Brückenschaltung 65

C

C–MOS 23
Codewort 49

D

Dauerzugbeleuchtung 111
Darlington-Transistor 98
Dekoder 59
Digital-Analog-Wandler 33, 50
Dualsystem 18
Dynamischer Eingang 26

E

ems-System 35

F

Fahrspannungsgerät 70, 123
Fahrtregler 61
Fehlimpulsunterdrückung 99
Flankentriggerung 26
Flip-Flop 24
Frequenzmultiplex-Verfahren 43
Funktionstabelle 22

G

Gatter 22
Gedruckte Schaltung 102
Gegenkopplung 137
Geräuschelektronik 111
Gleichstrommotoren 65, 96
Gleis|besetzt-Meldung 113
–system 10

H

Halbwellenbetrieb 43
Hornby-Mehrzugsteuerung 52
H–Potential 20

I

Impuls|betrieb 64
–dehner 64, 95
–teil 75
Induktiver Widerstand 128
Integrierte Schaltung 23

K

Kanal 38
Kapazitiver Widerstand 128
Kehrschleife 109
Kippschaltungen 24
Kodierung 49
Komparator 32, 138

L

Lenkservo 141
L–Potential 20

M
Märklin-System 12
Masse 10
Mehrzugsteuerung 14
Mittelwertbildner 135
Monoflop 26
Monostabiler Multivibrator 25
Multiplexer 50

N
NAND-Gatter 23
NICHT-Gatter 23
NOR-Gatter 23
Nulleiter 9

O
Oberleitungsbetrieb 10
ODER-Gatter 22
Operationsverstärker 137

P
Pausensynchronisation 55, 92
Phasenanschnittsteuerung 43
Phillips-Mehrzugsteuerung 43
Proportionalsteuerung 62
Puls|codemodulation 48
–dauermodulation 39, 46
–positionsmodulation 47

Q
Quantisierung 48

R
Rot-Mehrzugsteuerung 42

S
Salota-Mehrzugsteuerung 43
Schalt|funktionen 114
–transistor 20
Schieberegister 28
Schutzleiter 88, 131
Selectrix 99 Mehrzugsteuerung 48
Servoverstärker 122, 137
Simultanbetrieb 55
Spannungsverdoppler 88, 135
Steuergenerator 127
Stirnlampenumschaltung 111
Strom|begrenzung 126
–kreise 9

T
T-Flip-Flop 30
Timer 77, 80
Tonfrequenzsteuerung 38
Totbereich 95
Trix-ems-System 35
–*Express*-System 13
–*Selectrix 99*-System 48
Trolley-Bus 118

U
Überlagerungsschaltung 128
Überstromsicherung 70
UND-Gatter 22

V
Veroboard-System 69
Verriegelungsschaltung 67
Villard-Schaltung 135

W
Wechselstrommotoren 65, 99

Z
Zähler 30, 60, 83
Zeitmultiplexverfahren 43
Zero 1 52
Zugbeeinflussung 9
Zweileiter-Gleichstrom-System 10

Was halten Sie von diesem Buch?
Das würden wir gerne wissen.
Setzen Sie bitte ein paar Stichworte auf! Danke!

Buchtitel
und Urteil

Allg. Hinweis
KD.-
Klass. Ziffer

Kasten bitte freilassen

Fachgebiete, die mich interessieren:

- ☐ Hobby-Elektronik
- ☐ Elektroakustik
- ☐ Unterhaltungs-Elektronik
- ☐ Professionelle Elektronik
- ☐ Computerpraxis
- ☐ Amateurfunk
- ☐ Elektrotechnik
- ☐ Nachrichtentechnik

Auf dieses Buch wurde ich aufmerksam durch:

- ☐ Prospekt
- ☐ Besprechung
- ☐ Schaufenster
- ☐ Anzeige
- ☐ Empfehlung

Name, Vorname

Beruf

Straße

PLZ, Ort

Hiermit bestelle ich
aus dem Franzis-Verlag:

Bücher:
bitte die ISBN-Nr. ergänzen:

ISBN-Nr.
3-7723- ____________________

3-7723- ____________________

3-7723- ____________________

3-7723- ____________________

___ Verlagsverzeichnis (kostenlos)

___ RPB-Katalog (kostenlos)

Lieferung durch die Buchhandlung:

____

____

Wenn keine Firma eingesetzt, bitte an umseitige Adresse

bitte als
Postkarte
frankieren

Franzis-Verlag
GmbH
Werbe- und Vertriebs-
abteilung Bücher
Postfach 37 01 20

8000 München 37

Weitere Informationen aus allen Bereichen der Elektronik finden Sie in unseren Zeitschriften.
Eine Kurzbeschreibung der einzelnen Zeitschriften ersehen Sie auf der Rückseite dieser Karte.
Ein Probeheft übersenden wir Ihnen gerne zum Kennenlernen.

Bestellkarte

Bitte senden Sie mir an untenstehende Anschrift ab ______________

___ **ELO**
Jahresabonnement, 12 Hefte,
36,– DM im Inland,
39,– DM im Ausland.

___ Probeheft
zum Kennenlernen

___ **Elektronik**
Jahresabonnement, 25 Hefte,
104,40 DM im Inland,
111,60 DM im Ausland

___ Probeheft
zum Kennenlernen

___ **Funkschau**
Jahresabonnement, 25 Hefte,
90,– DM im Inland,
96,– DM im Ausland.

___ Probeheft
zum Kennenlernen

___ **mc**
Jahresabonnement, 12 Hefte,
60,– DM im Inland,
66,– DM im Ausland

___ Probeheft
zum Kennenlernen

____
Name/Vorname

____
Straße

____
PLZ, Ort

____
Datum, Unterschrift

In den genannten Abonnementspreisen sind sämtliche Nebenkosten, einschließlich Porto, enthalten. Die Kündigung ist jeweils 8 Wochen zum Kalenderjahresende möglich. Diese Vereinbarung können Sie innerhalb einer Woche schriftlich widerrufen.

Hö/ZV/1181/543/200'

118 • Bauelemente für den Hobby-Elektroniker (Nührmann). 2. Aufl.

119 • • • Gedruckte Schaltungen (Sutaner/Wißler). 4. Aufl.

122 • • Der Hobby-Elektroniker plant seine Schaltungen selbst (Nührmann). 2. Aufl.

123 • • Arithmetisch-logische Rechenwerke im Experiment (Benda)

125 • Die Mechanik für den Hobby-Elektroniker (Nührmann)

126 • • • Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 5. Aufl.

127 • • Schaltungsanwendungen der Optoelektronik (Oehmichen)

129 • • • Tips und Schliche (Nührmann)

130 • • Solar-Zellen (Juster)

132 • • FM-Transceiver-Technik (Gerzelka)

133 • • Synthesizer-Steuersender-Technik (Gerzelka)

134 • • • Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 4. Aufl.

135 • • • ABC der Mikroprozessoren und Mikrocomputer (Pelka)

136 • Transistorisierte Netzgeräte (Strobel). 5. Aufl.

137 • • Meßgeräte mit IC's (Sehring)

138 • • • Kleines HiFi-ABC (Fellbaum/Loos)

139 • • • Digitale Steuerung von Modelleisenbahnen (Platerink)

142 • • Kleine HiFi-Stereo-Praxis (Knobloch)

144 • • • Amateurfunk-Morsetelegrafie CW (Pietsch)

146 • • Halbleiterspeicher (Bonerz)

147 • • • Fernseh-Service leicht gemacht (Lummer). 5. Aufl.

148 • Transistoren und Dioden in der Hobbypraxis (Nührmann)

149 • • • Kondensatorkunde für Elektroniker (Leucht)

150 • • Sequenzer – ein Musikcomputer (Schröder)

151 • • Operationsverstärker in der Hobbypraxis (Nührmann)

152 • • Die wichtigsten Grundlagen für die Hobby-Elektronik (Nührmann)

154 • • • KW-Amateurbildfunk SSTV und FAX (Pietsch)

155 • • • Solarflug (Bruß)

156 • • • Energiesparen (Gueulle)

157 • • Meßgeräte und Meßverfahren für den Funkamateur (Link). 3. Auflage

158 • • Sensible Sensoren (Limann)

159 • • • Die logisch gesteuerte Modelleisenbahn (Platerink)

160 • • • Relais (Köhler). 2. Aufl.

161 • HiFi-Lautsprecher-Kombinationen (Klinger). 2. Aufl.

162 • • • Vom einfachen Detektor bis zum Kurzwellenempfang (Nührmann)

164 • • • 50 Hobbyschaltungen mit Leuchtdioden (Schreiber)

165 • • • BIFET-BIMOS-CMOS in Feldeffekt-Operationsverstärkern (Schreiber)

167 • • • Dia-Vertonung (Tollmien)

168 • • Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach/Geyrhalter). 7. Aufl.

171 • • • Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt (Benda). 4. Aufl.

172 • • FET-Theorie (Dielemann)

173 • • Anwendungsbeispiele für den Mikroprozessor 6502 (Feichtinger)

174 • • Amateurfunkgeräte für das 70-cm-Band (Reithofer). 3. Aufl.

175 • • • Infrarot-Elektronik (Schreiber)

177 • • • Energiesparende Heizungsregelung (Rapp)

179 • • Digitale Elektronik für Anfänger (Kleemann). 4. Aufl.

180 • • • KW- und UKW-Sender für den Funkamateur (Diefenbach). 4. Aufl.

182 • • Aktive Antennen für DX-Empfang (Best)

183 • • • Digitale Mehrzugsteuerung (Christoffers)

300 • • Kfz-Elektronik im Selbstbau (Jansen). 3. Aufl.

302 • • • Electronic-Pianos und Synthesizer (Tünker). 2. Aufl.

311 • • • Lautsprechergehäuse-Baubuch (Klinger). 4. Aufl.

312 • Elektronische Gleisbildstellwerke (Jäger)

314 • • • Hobby-Schaltungen (Schreiber)

315 • • Lautsprecher-Kits (Klinger) 2. Auflage

331 • • • Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 4. Aufl.

335 • • • Mischpulte und Mischpultmodule (Wirsum). 4. Aufl.

336 • • • Musikelektronik (Tünker). 4. Aufl.

337 • • • Elektronische Hilfsmittel für Film und Foto (Horst)

340 • • • Vom Flip-Flop zur Quarzuhr (Pelka). 3. Aufl.

341 • • Modelleisenbahn-Elektronik im Selbstbau (Jungmann). 3. Aufl.

342 • • • Elektronik in der Popmusik (Goddijn). 2. Auflage

RPB **183** Dreifachband

Christoffers
Modelleisenbahnen digital ferngesteuert

Modelleisenbahner und Hobbyelektroniker werden an diesem Band gleichermaßen Freude haben. Beiden öffnet sich ein weites Betätigungsfeld. Als hehres Ziel winkt ein vorbildgetreuer Betriebsablauf. Wer noch wenig elektronische Kenntnisse hat, dem werden diese beigebracht, und zwar nicht zu viel und nicht zu wenig. Es geht dabei um die Grundbegriffe der Digital-Elektronik. Das Schlußlicht bildet dann ein Überblick über die verschiedenen Mehrzug-Steuersysteme.
Wer will, kann gleich in die Bastelei einsteigen. Wie es sich für ein ordentliches Baubuch gehört, werden alle Schaltungen ausführlich erläutert, genaue Stücklisten aufgeführt. Die Miniatur-Elektronik ermöglicht bestechende Lösungen. – Eine technische Delikatesse ist der voll ferngesteuerte Oberleitungsomnibus im exakten H0-Maßstab.
Der Autor ist wissenschaftlicher Assistent an einem TU-Institut. Das Buch ist das Ergebnis eines Bastler-Hobbys.

ISBN 3-7723-1831-2

Franzis'